

Sahibi / Publisher

Prof. Dr. Şükrü BEYDEMİR (Rektör / Rector)

Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Murat ALANYALIOĞLU (Enstitü Müdürü / Institute Director)

Editörler / Editors

Doç. Dr. Adem SARIHAN

Dr. Öğr. Üyesi Şebnem EKERYILMAZ

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Arş. Gör. Damla ERİKGENOĞLU

Arş. Gör. Ezgi GÜLER

Arş. Gör. Kadriye Nurdanay ÖZTÜRK

Yazı İşleri Müdürü / Editorial Office Director

Bahar ALCAN

Yazım ve Dil Editörü / Spelling and Language Editor

Öğr. Gör. Dr. Ayça BAKİNER ÇEKİN

Editör Kurulu / Editorial Board

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

Dr. Öğr. Üyesi Gülçin AKGÖREN PALABIYIK (gulcin.akgoren@bilecik.edu.tr)
Eczane Hizmetleri Bölümü, Pazaryeri Meslek Yüksekokulu, Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi

Doç. Dr. Adem SARIHAN (adem.sarihan@bilecik.edu.tr)
Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi

Arş. Gör. Damla ERİKGENOĞLU (damla.kilic@bilecik.edu.tr)
Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi

Arş. Gör. Ezgi GÜLER (ezgi.guler@bilecik.edu.tr)
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi

Arş. Gör. Kadriye Nurdanay ÖZTÜRK (kadriye.ozturk@bilecik.edu.tr)
İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebalı 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

BAŞ EDITÖR / EDITOR-IN-CHIEF

Prof. Dr. Murat ALANYALIOĞLU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 11230 Bilecik, Türkiye
Bilecik Seyh Edebali University, School of Graduate Studies, 11230 Bilecik, Turkey

Telefon/Phone: +90228 2141130 **Faks /Fax:** +90228 2141132

E-posta/E-mail: murat.alanyalioglu@bilecik.edu.tr

Yazı İşleri Müdürü / Editorial Office Director

Bahar ALCAN

İletişim Bilgileri / Contact Informations

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 11230 Bilecik, Türkiye
Bilecik Seyh Edebali University, School of Graduate Studies, 11230 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, 11230 Bilecik/Türkiye / Bilecik Seyh Edebali University, School of Graduate Studies, 11230 Bilecik/Turkey. web: <http://dergipark.org.tr/pub/bsufbd>

Hakem Listesi / Reviewer Board

- Prof. Dr. Ahmet Çağrı Karaburun / Anadolu Üniversitesi/ Eczacılık Fakültesi / Eczacılık Meslek Bilimleri Bölümü / Farmasötik Kimya Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Ali Oral / Balıkesir Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Ali Osman Aydın / İstanbul Medipol Üniversitesi / Eczacılık Fakültesi / Temel Eczacılık Bilimleri Bölümü / Analitik Kimya Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Ali Rıza Motorcu / Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü / Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Ayhan Ünlü / Fırat Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği Bölümü / Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Ayşe Dilek Çuhadaroğlu / Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Maden Mühendisliği Bölümü / Cevher Hazırlama Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Bilge Demir / Karabük Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Konstrüksiyon ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Ekrem Atalan / İnönü Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü / Genetik Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Engin Özkan / Erzurum Binali Yıldırım Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Cebir ve Sayılar Teorisi Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Gökhan Çamoğlu / Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü / Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Halil İbrahim Erkovan / Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Çayır Mera ve Yem Bitkileri Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Mehmet Nedim Doğan / Aydın Adnan Menderes Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Bitki Koruma Bölümü / Fitopatoloji Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Murat Tolga Özkan / Gazi Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü / Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Murat Türköz / Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Geoteknik Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Mustafa Bahşi / Aksaray Üniversitesi / Eğitim Fakültesi / Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü / Matematik Eğitimi Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Mustafa Gürses / Atatürk Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Gıda Mühendisliği Bölümü / Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Mustafa Özer / Gazi Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Mustafa Tan / Trakya Üniversitesi / Havsa Meslek Yüksekokulu / Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü / Peyzaj ve Süs Bitkileri Pr./
- Prof. Dr. Mustafa Tuncer / Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Necati Alp Erilli / Sivas Cumhuriyet Üniversitesi / İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi / Ekonometri Bölümü / İstatistik Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Neval Baycan / Dokuz Eylül Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği Bölümü / Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Nevzat Artık / Gıda Güvenliği Enstitüsü/
- Prof. Dr. Nihal Ata Tutkun / Hacettepe Üniversitesi / Fen Fakültesi / İstatistik Bölümü / İstatistiksel Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Nihat Tursun / Malatya Turgut Özal Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Bitki Koruma Bölümü / Fitopatoloji Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Nuran Asmafiliz / Ankara Üniversitesi / Fen Fakültesi / Kimya Bölümü / Anorganik Kimya Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Orhan Gezici / Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Kimya Bölümü / Analitik Kimya Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Öznur İşçi Güneri / Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi / Fen Fakültesi / İstatistik Bölümü / Uygulamalı İstatistik Anabilim Dalı/

Hakem Listesi / Reviewer Board

Prof. Dr. Safder Bayazıt / Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Bahçe Bitkileri Bölümü / Meyve Yetiştirme ve Islahı Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Selçuk Mıstıkoğlu / İskenderun Teknik Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Makine Mühendisliği Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Selen Bilge Koçak / Ankara Üniversitesi / Fen Fakültesi / Kimya Bölümü / Anorganik Kimya Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Serpil Halıcı / Pamukkale Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Cebir ve Sayılar Teorisi Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Sinem Göktürk / Marmara Üniversitesi / Eczacılık Fakültesi / Temel Eczacılık Bilimleri Bölümü / Eczacılık Temel Bilimleri Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Süleyman Savaş Durduran / Necmettin Erbakan Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Harita Mühendisliği Bölümü / Arazi Yönetimi Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Tayfun Çay / Konya Teknik Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Harita Mühendisliği Bölümü / Arazi Yönetimi Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Veyis Tansı / Çukurova Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Tarla Bitkileri Anabilim Dalı/

Prof. Dr. Zerrin Heren / Ondokuz Mayıs Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Kimya Bölümü / Anorganik Kimya Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Ahmet Dumlu / Erzurum Teknik Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik Makineleri Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Alırza Kaleli / Samsun Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Kontrol ve Kumanda Sistemleri Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Bahadır Yüzbaşı / İnönü Üniversitesi / İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi / Ekonometri Bölümü / İstatistik Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Barış Altıokka / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Meslek Yüksekokulu / Elektrik ve Enerji Bölümü / Elektrik Enerjisi Üretim, İletim ve Dağıtım Pr /

Doç. Dr. Birgül Benli / İstanbul Teknik Üniversitesi / Maden Fakültesi / Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü / Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Derya Birant / Dokuz Eylül Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Engin Gür / Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Bahçe Bitkileri Bölümü / Meyve Yetiştirme ve Islahı Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Ercan Köse / Tarsus Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Kontrol ve Kumanda Sistemleri Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Erhan Genç / Kocaeli Üniversitesi / İzmit Meslek Yüksekokulu / Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü / Çevre Koruma ve Kontrol Pr./

Doç. Dr. Fatih Apaydın / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Üretim Metalurjisi Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Fehmi Odabaşoğlu / Kafkas Üniversitesi / Tıp Fakültesi / Temel Tıp Bilimleri Bölümü / Biyokimya Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Furkan Orhan / Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü / Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Gökay Bayrak / Bursa Teknik Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Gülcan Toktaş / Balıkesir Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Gültekin Basmacı / Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı/

Hakem Listesi / Reviewer Board

Doç. Dr. Halit Öztekin / Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı/

Doç. Dr. İbrahim Koç / Bitlis Eren Üniversitesi / Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu / Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü / Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Pr./

Doç. Dr. İlker İnam / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Analiz ve Fonksiyonlar Teorisi Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Kazım Yıldız / Marmara Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Kenan Karagül / Pamukkale Üniversitesi / Honaz Meslek Yüksekokulu / Yönetim ve Organizasyon Bölümü / Lojistik Pr./

Doç. Dr. Mehmet Emin Öncü / Dicle Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü/ Yapı Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Mehmet Erdi Korkmaz / Karabük Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Mekanik Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Mehmet Koç / Eskişehir Teknik Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı /

Doç. Dr. Mehmet Subaşı / Gazi Üniversitesi / Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu / Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü / Endüstriyel Kalıpcılık Pr./

Doç. Dr. Melih Kuncan / Siirt Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektronik Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Memduh Kurtulmuş / Marmara Üniversitesi / Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu / Kuyumculuk ve Mücevher Tasarımı Bölümü / Kuyumculuk ve Mücevher Tasarımı Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Metin Bilgin / Bursa Uludağ Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü /Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Murat Mayda / Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Makine Teorisi ve Dinamiği Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Mustafa Durgun / Harran Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Kimya Bölümü / Organik Kimya Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Onur Merter / İzmir Ekonomi Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü /İnşaat Mühendisliği Pr./

Doç. Dr. Özen Özer / Kırklareli Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Cebir ve Sayılar Teorisi Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Öznur Begüm Gökçek / Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği Bölümü / Çevre Teknolojisi Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Raşit Aydın / Selçuk Üniversitesi / Fen Fakültesi / Fizik Bölümü /Kathal Fiziki Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Selmin Ener Rüşen / Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü / Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Semiha Bulut / Sivas Cumhuriyet Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Makine Teorisi Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Serdar Yılmaz / Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Maden Mühendisliği Bölümü / Cevher Hazırlama 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. Sinem Güler Kangallı Uyar / Pamukkale Üniversitesi / İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi / Ekonometri Bölümü / Yöneylem Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Şahin Yavuz / Dokuz Eylül Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Makine Teorisi ve Dinamiği Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Şenol Yıldız / Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Yaban Hayatı Ekolojisi ve Yönetimi Bölümü / Yaban Hayatı Ekolojisi ve Yönetimi Anabilim Dalı/

Doç. Dr. Tamer Üstüner / Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Bitki Koruma Bölümü / Fitopatoloji Anabilim Dalı/

Hakem Listesi / Reviewer Board

- Doç. Dr. Ümit Hüner / Kırklareli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Makine Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Vedat Taşkın / Trakya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Mekanik Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Veli Şimşek / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Kimya Mühendisliği Bölümü / Kimyasal Teknolojiler Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Zeynel Abidin Polat / İzmir Katip Çelebi Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi / Harita Mühendisliği Bölümü / Kamu Ölçmeleri Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Zuhal Alım / Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Kimya Bölümü / Biyokimya Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Yinanç / Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi / Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu / İnşaat Bölümü / Yapı Denetimi Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Yücel / Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi / Şereflikoçhisar Uygulamalı Bilimler Fakültesi / Finans ve Bankacılık Bölümü / Finans ve Bankacılık Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Akif Karafıl / Yalova Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Ali Rıza Kul / Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi / Fen Fakültesi / Kimya Bölümü / Fizikokimya Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Burak Görgün / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Mekanik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Çağla Ediz / Sakarya Üniversitesi / İşletme Fakültesi / Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü / Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Dilara Başat Dereli / Bitlis Eren Üniversitesi / Tatvan Meslek Yüksekokulu / Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü / Laboratuvar Teknolojisi Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Dilek Tükel / Doğu Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Yazılım Mühendisliği Bölümü / Yazılım Mühendisliği Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Erkan Özhan / Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi / Çorlu Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Esin Sarıman Özen / Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi / Mimarlık Fakültesi / İç Mimarlık Bölümü / İç Mimarlık Anasanat Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Esra Barım / Munzur Üniversitesi / Tunceli Meslek Yüksekokulu / Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü / Laboratuvar Teknolojisi Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Eyüp Emre Ülkü / Marmara Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Siber Güvenlik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Goncağül Serdaroğlu / Sivas Cumhuriyet Üniversitesi / Eğitim Fakültesi / Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü / Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Gökhan Erdemir / İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Göksel Gökkuş / Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Hasan Gökbaşı / Bitlis Eren Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Cebir ve Sayılar Teorisi 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 İbrahim Kutay Yılmazçoban / Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Makine Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Kader Poturcu / Süleyman Demirel Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Kimya Bölümü / Analitik Kimya Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Koray Kaçan / Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi / Ortaca Meslek Yüksekokulu / Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü / Bahçe Tarımı Pr./

Hakem Listesi / Reviewer Board

- Dr. Öğr. Üyesi Kutluğ Savaşır / Dokuz Eylül Üniversitesi / Mimarlık Fakültesi / Mimarlık Bölümü / Yapı Bilgisi Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Koç / Kilis 7 Aralık Üniversitesi / Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu / Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü / Bahçe Tarımı Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Rıza Kıvanç / Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi / Van Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu / Eczane Hizmetleri Bölümü / Eczane Hizmetleri Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Melis Alpaslan Takan / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü / Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Merve Karaoğlu Can / Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Mimarlık Fakültesi / İç Mimarlık Bölümü / İç Mimarlık Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Elitaş / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Murat Karaer / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Biyosistem Mühendisliği Bölümü / Arazi ve Su Kaynakları Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Murat Tekiner / Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü/
- Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Taşyürek / Selçuk Üniversitesi / Sivil Havacılık Yüksekokulu / Uçak Gövde-Motor Bakım Bölümü / Uçak Gövde-Motor Bakım Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Yaz / Yozgat Bozok Üniversitesi / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Devreler ve Sistemler Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Nihan Kazak Çerçevik / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Onur Sözüdoğru / Atatürk Üniversitesi / Uygulamalı Bilimler Fakültesi / Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü / Acil Yardım ve Afet Yönetimi Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Osman Dur / Gazi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / İleri Teknolojiler Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Ömer Ertuğrul / Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Biyosistem Mühendisliği Bölümü / Tarımsal Makine Sistemleri Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Ömer Kasım / Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Simav Teknoloji Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektronik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Pınar Uyan / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Meslek Yüksekokulu / Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü / Metalurji Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Recep Akan / Süleyman Demirel Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Geoteknik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Rukiye Saygılı Canlıdınç / Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Kimya Bölümü / Analitik Kimya Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Sami Şit / Hakkari Üniversitesi / Çölemerik Meslek Yüksekokulu / Elektrik ve Enerji Bölümü / Elektrik Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Selma Boyacı / Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Bahçe Bitkileri Bölümü / Meyve Yetiştirme ve Islahı Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Serkan Savaş / Kırıkkale Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Sertan Sesveren / Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Biyosistem Mühendisliği Bölümü / Arazi ve Su Kaynakları Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Sıdka Mine Toker / Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Üretim Metalurjisi Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Şeyma Arıkan / Selçuk Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Bahçe Bitkileri Bölümü / Meyve Yetiştirme ve Islahı Anabilim Dalı/

Hakem Listesi / Reviewer Board

- Dr. Öğr. Üyesi Talha Sarıcı / İnönü Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Geoteknik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Tayyip Özcan / Erciyes Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi/ Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Donanımı Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Tuba Erşen Dudu / Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Maden Mühendisliği Bölümü / Cevher Hazırlama Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Uğur Avcı / Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi / Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu / Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü / Makine Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Uğurcan Eroğlu / MEF Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Makine Mühendisliği Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Yakup Onur Koca / Aydın Adnan Menderes Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Tahıllar ve Yemelik Baklagiller Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Yalçın Durmuşoğlu / İstanbul Teknik Üniversitesi / Denizcilik Fakültesi / Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü / Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Yıldırım Bayazıt / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Meslek Yüksekokulu / Tasarım Bölümü / İç Mekan Tasarımı Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Yunus Doğan / Dokuz Eylül Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı/
- Dr. Banış İşyarlar / Ordu Üniversitesi / Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu / Elektrik ve Enerji Bölümü / Doğalgaz ve Tesisatı Teknolojisi Pr./
- Dr. Ece Arzu Yıldız / Gazi Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü / Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Dr. Erdem Küçüktopçu / Ondokuz Mayıs Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü/
- Dr. Gonca Buyrukoğlu / Çankırı Karatekin Üniversitesi / Fen Fakültesi / İstatistik Bölümü / Uygulamalı İstatistik Anabilim Dalı/
- Dr. Kenan Yiğit / Yıldız Teknik Üniversitesi / Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi / Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü / Gemi Elektrik-Elektronik ve Otomasyonu Anabilim Dalı/
- Dr. Yeliz Akpınar / Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Kimya Bölümü / Analitik Kimya Anabilim Dalı/

İÇİNDEKİLER

Araştırma Makaleleri / Research Articles

Irrigation Water Quality in Selected Water Bodies of East Mediterranean Basin of Turkey <i>Sevtap Karakurt</i>	01-08
Homojen ve Heterojen Filolu, Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi İçin Bir Uygulama <i>Adem Şehitoğlu, Çerkez Ağayeva</i>	09-19
A Text Mining Analysis on Misinformation Regarding the COVID-19 Pandemic <i>Fırat İsmailoğlu</i>	20-31
Ankastre Bir Kirişin Ayrık Zamanlı Titreşim Modelinin Meta-sezgisel Optimizasyon Yöntemleri Kullanılarak Elde Edilmesi <i>Serkan Çaçka, Muhammed Enes Dokuz</i>	32-41
The Effects of Different Reinforcement Ratios on Wear Behaviors in EN AW 5754 (AlMg3)/SiCp Composite Materials Produced with the Squeeze Casting Method <i>Vedat Taşkın, Cuma Kılıç, Rifat Yakut, Nilhan Ürkmez Taşkın</i>	42-51
Realization of a Dual Axis Solar Tracking System <i>Mustafa Engin Başoğlu, Recep Ünsal, Gökhan Çağşiroğlu</i>	52-61
Determination of Optimum PGPB-Priming Protocol on Germination and Seedling Growth in Lentil <i>Murat Erman, Fatih Çiğ, Mustafa Ceritoglu</i>	62-70
Toz Metalurjisi ile Üretilen Gözenekli TiZr Alaşımının Mekanik Özellikleri ve Biyouyumluluğu Üzerine Sinterleme Sıcaklığının Etkileri <i>Ömer Çakmak, Mehmet Kaya, Abdurrahman Akkuş, Ebru Elibol Annaç, Mustafa Köm</i>	71-79
Bir Simülasyon Çalışması ile Cezalı Regresyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması <i>Murat Genç</i>	80-91
Ağır Ticari Araç Hidrolik Direksiyonlarında Kullanılan Burulma Millerinin Burulma Katsayılarının Deneysel Olarak Belirlenmesi <i>Ozan Özdemir, İbrahim Savaş Dalmış, Sait Özmen Eruslu</i>	92-106
Leaf Nitrogen, Phosphorous, Carbon Variation, and N and P Resorption in <i>Diospyros kaki</i> L. along an Altitudinal Gradient <i>Murat Erbay, Ali Bilgin, Şule Güzel</i>	107-114
Kentsel Su Yönetiminde Basınç Kontrolü İçin Fayda Maliyet Analizi Hesaplama Aracının Geliştirilmesi <i>Salih Yılmaz, Mahmut Fırat</i>	115-123
A New Chemical Method to Predict Grindability Index (HGI) for Limestones <i>Candan Bilen</i>	124-137
Housing Price Estimation with Deep Learning: A Case Study of Sakarya Turkey <i>Murat Özdemir, Kazım Yıldız, Büşra Büyüktanır</i>	138-151
1H, 1'H-3,3'-Biindazol Maddesinin Ratlarda Bazı Biyokimyasal Parametrelere Etkisinin Araştırılması <i>Ebru Çötel, Fikret Karataş, Haki Kara, Süleyman Servi</i>	152-159

Elektrikli Araçlar İçin Akıllı Hibrit Şarj İstasyonu Örneği <i>Ali Öter, Fatih Baltacı</i>	160-175
Yozgat İlindeki Bazı Sulama Birliklerinde Uygulanan Sulama Faaliyetlerinin Su Kullanıcıları Tarafından Değerlendirilmesi <i>Gülşah Şengönül Aslan, Burak Nazmi Candoğan</i>	176-185
İtiryum Katkılı Gadolinium Oksit Numunelerinin Sentez ve Karakterizasyonu <i>Tankut Ateş, Aydan Aksoğan Korkmaz, Niyazi Bulut, Serhat Keser, Ömer Kaygılı</i>	186-194
Sliding-Mode Control Techniques of SEPIC Converter in Continuous Current Mode <i>Mehmet Yılmaz, Muhammet Emin Kalçık, Muhammet Fatih Çorapsız</i>	195-207
Dynamic Stability of Cracked Composite Plates <i>Özgür Sayer, Hasan Öztürk, Çınar Emine Yeni, Aysun Baltacı, Rafet Can Ümütlü</i>	208-224
Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı ile Betonarme İstinat Duvarının Karşılaştırmalı Analizi: Kastamonu-Karabük Karayolu Örneği <i>Halil İbrahim Yumrutaş, İnan Keskin, Ulaş Aydın</i>	225-240
Zeytinyağı Endüstrisi Atıksularının Kitosan ile Koagülasyonunda Box-Behnken İstatistiksel Deney Tasarım Yönteminin Uygulanması <i>Ezgi Oktav Akdemir</i>	241-248
Sivas İlinde Buğday, Arpa, Şeker Pancarı ve Ayçiçeği Üretimi İçin Su Ayak İzinin Hesaplanması <i>Ayben Polat Bulut, Gamze Topal Canbaz</i>	249-255
Invar 36 Alaşımının Seramik Takımlar ile İşlenmesinde Kesme Kuvveti Bileşenleri ve Yüzey Pürüzlülüğü Bakımından İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi <i>Mahir Akgün</i>	256-268
Jel İçeren Sıvılaştırılabilir Zeminde Donma Direncinin İncelenmesi <i>Asker Alp Gültekin, Burak Evirgen</i>	269-276
Yeni Tiyazolil-Hidrazin Türevlerinin Sentezi ve Asetilkolinesteraz (AChE) ve Bütirikolinesteraz (BuChE) Aktivite Çalışmaları <i>Ayşen Işık, Ulviye Acar Çevik, Tuğba Erçetin, Ahmet Koçak</i>	277-285
Sayma Verileri ile Kantil Regresyon: Aşırı Yayılım Veri Örneği <i>Burcu Durmuş, Öznur İşçi Güneri, Aynur İncekırık</i>	286-303
COVID-19 Hastalarının Hastanede Yatılı Olarak Tedavi Olma Süresine Etki Edebilecek Risk Faktörlerinin Cox-Regresyon Analizi ile İncelenmesi <i>Serap Yörübulut</i>	304-313
Seramik Enjeksiyon Kalıplama için İskelet Bağlayıcı Değişiminin Reolojik Özelliklerine Etkisi <i>Levent Urtekin, Faik Yılan, İbrahim Uslan, Bedri Tuç</i>	314-323
Finite Element Modelling of Ultimate Strength of CFST Column and Its Comparison with Design Codes <i>Ayşegül Erdoğan, Esra Mete Güneysi, Süleyman İpek</i>	324-339
Prediction and Analysis of Weather Parameters with Global Horizontal Solar Irradiance Using LSTM-CNN Based Deep Learning Technique <i>Sercan Yalçın, Münür Sacit Herdem</i>	340-356
Gaussian Bronze Lucas Numbers <i>Nusret Karaaslan</i>	357-363

Clay-Biomass Composite: An Ecofriendly Hybrid Adsorbent for Effective Removal of Ni (II) <i>Fatih Sayın</i>	364-375
DH-PIM İletim Yöntemi için Bir Hata Düzeltme Yapısı <i>Mehmet Sönmez</i>	376-384
Di amino-sübstitüe Halkalı Trifosfazen Türevlerinin Antimikrobiyal Aktivitelerinin Araştırılması <i>Gülçin Çetin Kılıçaslan, Cihan Darcan, Necibe Kılıçer, Sedat Türe</i>	385-391
Çanakkale Yenice Çinko Konsantrlerinden Çinko Ekstraksiyonuna Mekanik Aktivasyon ve Elektro-Oksidasyonun Etkisi <i>Doğan Çemrek, Figen Algül, Hasan Algül, Ahmet Alp</i>	392-401
Küresel Grafitli Dökme Demir Kalıp Malzemesi Üzerine Farklı Toz Malzemeleri Kullanılarak Lazer Dolgu Kaynağı Uygulaması <i>Adem Karşı, Meryem Altay, Hakan Aydın, Ali Bayram</i>	402-415
Marmara Bölgesindeki Bir Konteyner Limanı İçin Fotovoltaik Enerji Sistem Kurulumunun Tekno-Ekonomik ve Çevresel Analizi <i>Ali Rıza Dal, Fatih Yılmaz</i>	416-432
Comparative Quantum Chemical Analysis of Midaflur, a Fluorinated Aminoimidazoline <i>Sümeyya Serin</i>	433-452
Optimization of Welding Parameters of AISI 431 and AISI 1020 Joints Joined by Friction Welding Using Taguchi Method <i>Mehmet Şükrü Adin, Bahattin İşcan, Şehmus Baday</i>	453-470
AZ Serisi Döküm Magnezyum Alaşımlarının Termal Özellikleri <i>Biröl Akyüz</i>	471-478
Examination of Visual Comfort Parameters in an Educational Building <i>Neslihan Yıldız</i>	479-494
Farklı Oranlarda Sürfaktan İçeren PbS İnce Filmlerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi <i>Ersin Yücel</i>	495-504
Bir Boyutlu Hücresel Dönüşümlerin Terslenebilirliği <i>Ferhat Şah</i>	505-513
Development of Virtual Robotic Laboratory and Materials for Education and Research <i>Alim Kerem Erdoğmuş, Uğur Yayan</i>	514-540
Change Point Detection Methods for Locating Activations in Functional Neuronal Images <i>Cemre Candemir, Kaya Oğuz</i>	541-554
Yapı Bilgi Modellemesi'nin Türkiye için Uygulanabilirliğinin Araştırılması <i>Gözde Şahinkaya, Faik Ahmet Sesli, Varol Koç, Ömer Faruk Uzun</i>	555-563
Isparta İli Elma Bahçelerinde Glyphosate'a Dayanıklı Pire Ot (<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist)'larının Belirlenmesi <i>Ahmet Tansel Serim, İstem Budak, Ünal Asav</i>	564-573
Amfoterik Yüzey Aktif Maddelerin Şampuan Üzerinde Etkinliği <i>Pelin Döner, İbrahim İsmet Öztürk</i>	574-582

Derleme Makaleleri / Review Articles

Tarımsal Üretimde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi Kullanım Modelleri <i>Yaşar Serhat Saygılı, Bülent Çakmak</i>	583-595
Odun Sirkesinin Tarımda Kullanımı <i>Murat Birol, Elif Günel</i>	596-608
Kaba Yem Kaynağı Olarak Şerbetçi Otu (<i>Humulus lupulus L.</i>) <i>Erdem Gülümser, Hanife Mut, Uğur Başaran, Medine Çopur Doğrusöz</i>	609-615
Bilecik İlinin Meyvecilik Potansiyeli <i>Sinem Öztürk Erdem, Nuray Koş</i>	616-624
Aflatoxin Problem in International Trade of Pistachios and Solution Suggestions <i>Fatma Coşkun Topuz, Seda Akfırat</i>	625-632
Mikroplastiklerin Deniz Ortamı ve Sucul Canlılara Etkisi <i>İzel Kenan, Arzu Teksoy</i>	633-652
Finansal Zaman Serilerini Tahminlemede Kullanılan Yöntemlere Genel Bir Bakış <i>Nuh Yurduseven, Ahmet Anıl Müngen</i>	653-671

Araştırma Makalesi - Research Article

Irrigation Water Quality in Selected Water Bodies of East Mediterranean Basin of Turkey

Türkiye Doğu Akdeniz Havzasının Seçilmiş Su Kütlelerinde Sulama Suyu Kalitesi

Sevtap Karakurt^{1*}

Geliş / Received: 03/06/2021

Revize / Revised: 23/09/2021

Kabul / Accepted: 21/01/2022

ABSTRACT

Turkey is a country that has available climate conditions and water sources utilizable for agriculture. Most surface waters in the country can be applicable for irrigation purposes. Electrical conductivity (EC) is a measure of the salinity of the irrigation water, while salinity can also be directly measured in ppm. High salinity water prevents the water supply of the plant roots due to the high osmotic pressure, in other words reduces the availability of irrigation water. Sodium adsorption ratio (SAR) is an indicator of the quality of the irrigation water that is a measure of the sodium amount relative to calcium and magnesium amounts. High SAR values in the irrigation water result in impermeability in the soil mainly infiltration problems following a decrease in the water supply by the crop. In this study, four selected surface waters from the East Mediterranean Basin were chosen to evaluate their availability for the purpose of irrigation. Since the East Mediterranean Basin is a productive land due to its climatic conditions, monitoring the quality of the irrigation water of the basin becomes crucial. The selected surface water bodies were analyzed at three-month intervals between 2015 and 2019. The salinity and alkalinity classes were found to be C2-S1 which corresponds to good irrigation water quality and can be used to irrigate all types of plants.

Keywords- *East Mediterranean Basin, Irrigation Water, Salinity*

ÖZ

Türkiye, elverişli iklim koşullarına ve tarım için kullanılabilir su kaynaklarına sahip bir ülkedir. Ülkedeki yüzey sularının çoğu sulama amaçlı kullanılabilir. Elektrik iletkenliği (EC), sulama suyunun tuzluluğunun bir ölçüsüdür, tuzluluk da doğrudan ppm cinsinden ölçülebilir. Yüksek tuzlu su, yüksek ozmotik basınç nedeniyle bitki köklerinin su beslemesini engellemekte, bu da sulama suyunun etkinliğini azaltmaktadır. Kalsiyum ve magnezyum miktarlarına göre sodyum miktarının bir ölçüsü olan Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), sulama suyunun kalitesinin bir göstergesidir. Sulama suyundaki yüksek SAR değerleri, infiltrasyon diye bilinen toprakta geçirimsizlik sorununa ve ürünün su alımında azalma oluşmasına yol açar. Bu çalışmada, Doğu Akdeniz Havzasından seçilen dört yüzey suyu, sulama amacıyla kullanılabilirliklerini değerlendirmek için seçilmiştir. Doğu Akdeniz Havzası, iklim koşulları nedeniyle verimli bir arazi olduğundan, havzanın sulama suyunun kalitesinin izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Seçilen yüzey suyu kütleleri 2015 ile 2019 yılları arasında üç aylık aralıklarla analiz edilmiştir. Tuzluluk ve alkalinite sınıfları, iyi sulama suyu kalitesine karşılık gelen ve her tür bitkiyi sulamak için kullanılabilen C2-S1 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler- *Doğu Akdeniz Havzası, Sulama Suyu, Sodyum Adsorpsiyon Oranı, Tuzluluk*

^{1*} Corresponding author contact: skarakurt@dsi.gov.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7211-1285>)
General Directorate of State Hydraulic Works, 4th Regional Directorate, Konya, Turkey

I. INTRODUCTION

East Mediterranean Basin of Turkey is the location for agriculture of various plants, and it supplies a significant percentage of the country's food store [1]. The climate of the basin is suitable for long-term agriculture and gives way to planting a variety of products [2,3]. Despite the available precipitation amounts but due to the excessive evaporation because of the hot weather, the irrigation water in the basin should be forethoughtfully and wisely used. The scarcity of water worldwide is reaching up to higher levels day by day.

Besides the limitations in the amount of the irrigation water, the irrigation qualities of the waters in the basin are crucial to be inspected to determine the applicability of the irrigation water for the intended plantings [4]. Because of the incorrect irrigation water usage, farmers face a lack of efficiency or plant decays besides time and economic losses, and targeted planting cannot be achieved [5-7]. To prevent these losses, classification of the irrigation waters for intended purpose becomes valuable [8]. Irrigation waters are identified and classified basically according to the salinity and sodium contents [6]. Salinity is expressed by electrical conductivity and increases by the scarcity of precipitation and the increase in evaporation. Quality classes concerning salinity begin from the low hazard, and by the increase of the conductivity, it reaches medium, high, and very high hazard levels. In the case of using high salinity water for salt-nonresistant plants, yield reductions are detected.

Sodium contents are expressed by sodium adsorption ratio and dissolved sodium ions relative to dissolved calcium and magnesium ions [9]. Quality classes with respect to sodium adsorption ratio begin from the low hazard, and by the increase of the sodium concentrations, it reaches medium, high, and very high hazard levels. High sodium contents in the irrigation water have an indirect effect on the plant by primarily causing soil problems [10].

While low hazardous waters can be used to irrigate all types of plants, medium, and high hazardous waters should be used for resistible plants. Highly hazardous waters are not suggested for any types of plants. In the case of having no other irrigation-safe water in hand, very high hazardous waters may be used by applying some precautions just like blending with safe water, planting tolerant crops, blending with safe water or treatment of soil with gypsum or elemental sulphur [11,12].

In this study, four surface water sources that are commonly used for the agriculture of cherry, grapes, apple, olive, and nuts in the East Mediterranean Basin were monitored once per every three months between 2015 and 2019 as long as climate conditions were available or accessible waters were found despite the drought. Since a balanced diet is fundamental for a healthy body, beneficial planting becomes essential. The planting efficiency is principally based on the correct irrigation water quality besides the soil characteristics and the climatic conditions. Several studies concerning the chemical analysis of waters for irrigation purposes in different regions can be found in the literature. Still, since East Mediterranean Basin is the basic cultivated area for many parts of Turkey, it should be monitored and evaluated. The investigation results should fill the gaps in the irrigation water quality map of the country.

II. MATERIAL AND METHODS

A. Sampling

Sampling sites for the study were selected to be four surface water bodies from the bridges in the East Mediterranean Basin, whose details are given in Table 1. In this study, 1st sampling point Konya Hadim Bolat Village Bridge, was sampled for 13 times (n=13), 2nd sampling point Konya Hadim Afşar Village Bridge was sampled for 15 times (n=15), 3rd sampling point Karaman Başyayla Serper Bridge was sampled for 20 times (n=20) and 4th sampling point Karaman Bucakkışla Bıçakçı Bridge was sampled for 20 times (n=20), once in every three months between the given 2015-2019 period. The locations of the sampling points are given in Figure 1. The gaps in the samplings were caused because of the unavailable climate conditions or drought. The selected water bodies are used as irrigation water for planting cherry, grapes, apples, olive, and nuts in Konya and Karaman cities of Turkey [13].



Figure 1. Locations of the sampling points.

B. Experiments

Electrical Conductivity (EC) analyses were made by the electrochemical method according to TS 9748 EN 27888. Calibration and quality control of the conductivity-meter were made by 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 1408 $\mu\text{S}/\text{cm}$ solutions at 25°C, respectively.

Dissolved sodium, dissolved calcium, and dissolved magnesium ions were analyzed by ion chromatographic method according to TS EN ISO 14911. Calibration by the standards and quality control of the results of the ion chromatography instrument were made using certified calibration and quality control solutions.

C. Classification

Sodium adsorption ratio (SAR) values were calculated using Equation 1, where sodium, calcium, and magnesium concentrations are in mmol/L [14].

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^2 + Mg^2}{2}}} \quad (1)$$

Salinity and alkalinity classes were determined using Figure 2, in which salinity and sodium contents range from low to very high over 1 to 4. The diagram's electrical conductivities are in $\mu\text{S}/\text{cm}$, and the SAR are calculated by equation 1 and are in mmol/L. EC below 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ has low hazards to the plants, EC between 250-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ has a medium hazard, EC between 750-2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ has a severe danger for the plants, and EC above 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ is very highly hazardous. Likewise, the low sodium hazard is lower than 10 mmol/L SAR, the medium hazard to plant is between 10-18 mmol/L SAR, the high hazard is between 18-26 mmol/L, and above 26 mmol/L SAR is very hazardous to plants.

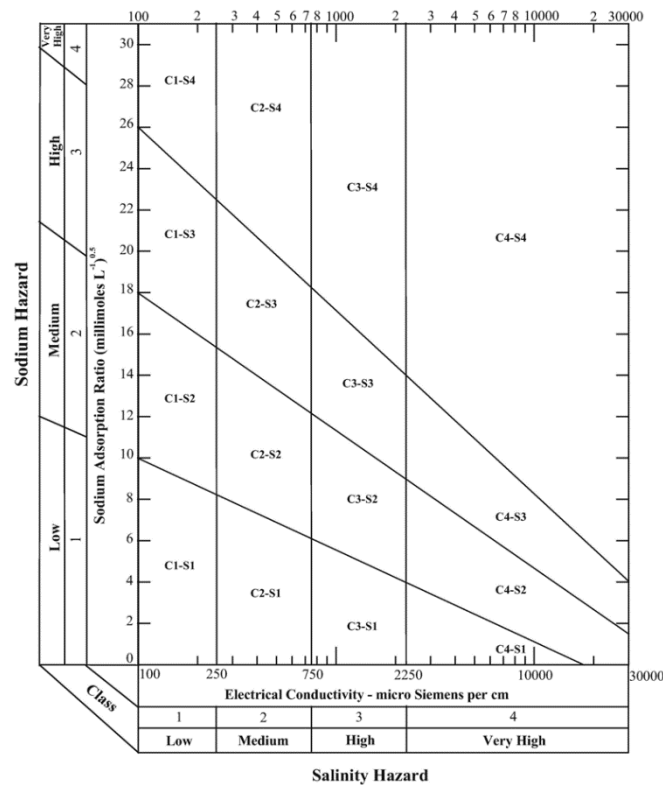


Figure 2. Diagram for the classification of irrigation waters [15]

D. Statistical Analyses

Statistical analyses were performed by Student's t-test using GraphPad Prism 5.0 statistical software package for Windows (La Jolla, CA). All results were expressed as means with their standard deviation (SD). $P < 0.05$ was taken as the minimum level of significance.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Four water bodies from the East Mediterranean Basin of Turkey were selected, and EC values were determined by electrochemical method besides dissolved sodium, magnesium and calcium concentrations were determined by ion chromatography instrument between 2015 and 2019, which becomes the basis for the evaluation of the waters for salinity and alkalinity classes for the purpose of irrigation.

There are several studies for the determination of irrigation water quality in various regions of Turkey. One of the analyses concerns 21 underground water samples in Biga, the biggest surface area and high capacity agricultural land in Çanakkale. According to the salinity diagram, the underground waters were found to be at C2-S1 and C3-S1 irrigation water quality [16]. Another study for the irrigation water quality was made to determine the irrigation water quality of 18 producers in the Muğla-Dalaman region. At the end of the analysis, the irrigation water quality was commonly as C3-S1 and C2-S1 [17]. The research in 20 wells in the Kütahya-Alayunt region revealed the irrigation water quality to be mostly belonging to C3-S1 and C2-S1 classes [18]. Another study was made for 12 months to determine the effect of industry on the irrigation water quality of Karabük region underground waters. At the end of the study, both in rainy and dry seasons, the underground waters were classified commonly as C3-S1 while some were C2-S1 [19].

Konya Hadim region was studied for drinking water purposes in a research study. Monthly monitoring in the Konya Hadim region was studied between June 2007 and July 2008 in the tap water for drinking water. The chemical analysis was found to be convenient, while bacterial analysis was found to be inconvenient for drinking water purposes. The chemical analysis results of the subject research are in convenience with the chemical analysis results of the present study [20].

In this study, the selected samples' EC analyses ranged between 282-644, 346-644, 331-595, and 453-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectively, in the sample points (Figures 3-6).

Dissolved sodium analyses of the samples ranged between 3.27-7.19, 2.97-12.50, 1.93-6.28 and 5.99-16.76 mg/L respectively, dissolved magnesium analyses of the samples ranged between 11.32-28.28, 6.04-17.13, 5.42-35.23 and 14.68-37.62 mg/L respectively and dissolved calcium analyses of the samples ranged between 39.61-99.82, 52.83-100.57, 56.48-81.11 and 41.92-102.56 mg/L respectively. The dissolved ions were analyzed by ion chromatographic method in mg/L units and the conversions of the concentrations to mmol/L was required for the calculations of SARs. The samples' SAR values for the corresponding sampling dates were calculated according to Equation 1 and graphed in Figures 3-6 for each sampling point.

The seasonal effects on the EC and the SAR values were found to be acceptable according to the classification of Figure 2, although a detailed investigation is required for a few sampling dates. In February 2015, the EC of the 1st sampling point was low when compared with the others. In November 2016, the EC of the 2nd sampling point was a little high compared with the others, both of which can be neglected due to their outlying characteristics. The SAR values of all sampling points in all sampling dates were similar and showed no definite change, even though the seasonal effects. The sampling points are originated from different water bodies. First, second, third and fourth sampling points are originated from Taşpınar stream, Çataltaş stream, Kuşla stream and Göksu river respectively. But due to the common climatic conditions of the locations, there was not a definite fluctuation from the common characteristics.

The average EC and SAR values for each sampling point were given in Table 1. The corresponding irrigation water classes were evaluated using Figure 2 and displayed in Table 1. All irrigation water samples were found to be belonging to the C2-S1 class in all sampling dates, further to removing the outliers, which presents a character that can be used for every type of plant, including the crops commonly planted in the subject region.

In some situations, in the case of having no irrigation safe water in hand, discharges from the wastewater treatment plants can be used for irrigation purpose. In one of the studies, the effect of wastewater treatment system discharge on the quality of irrigation water in Nilüfer, the irrigation water source of Bursa, was studied. The analysis performed between August 2013 and May 2014 resulted in irrigation water quality between C2-S1 and C4-S4 [21].

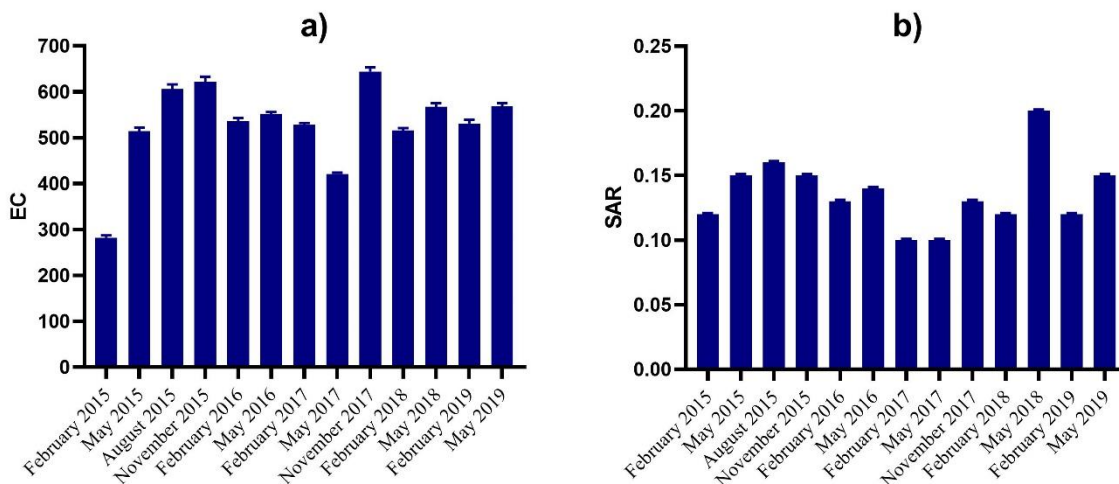


Figure 3. EC and SAR variations by the months for the 1st sampling point between 2015 and 2019

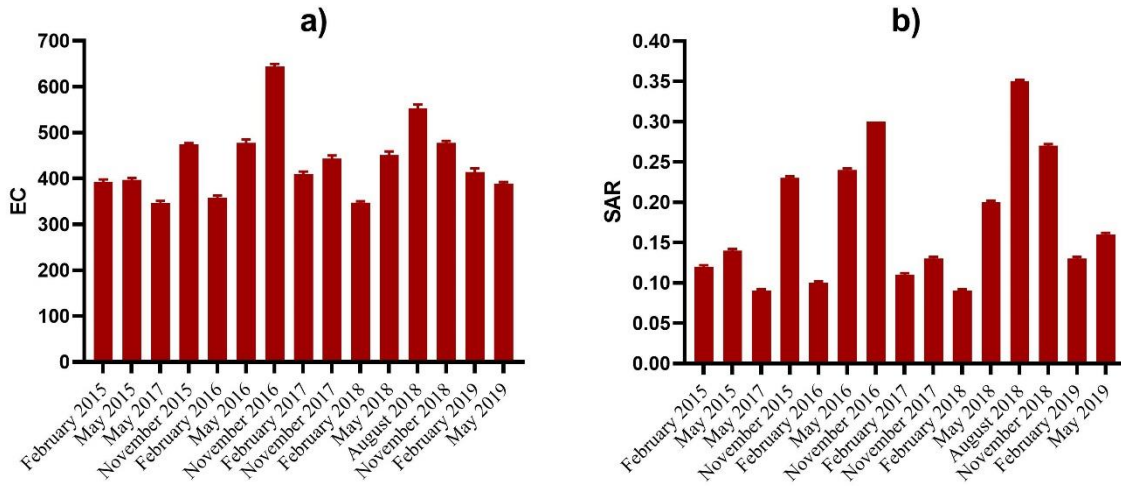


Figure 4. EC and SAR variations by the months for the 2nd sampling point between 2015 and 2019

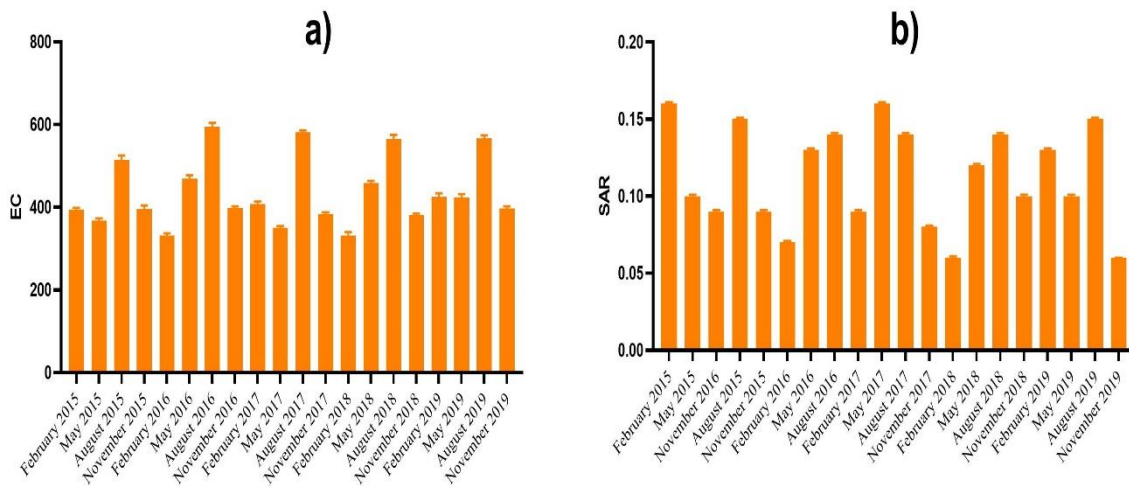


Figure 5. EC and SAR variations by the months for the 3rd sampling point between 2015 and 2019

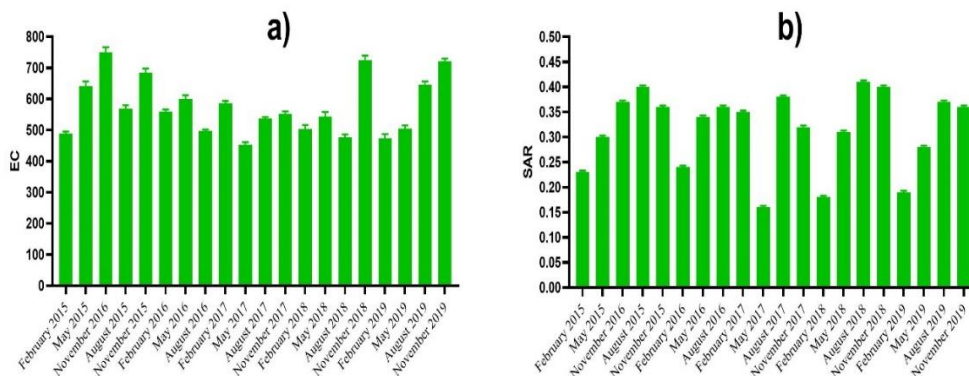


Figure 6. EC and SAR variations by the months for the 4th sampling point between 2015 and 2019

Table 1. Average electrical conductivity (EC), average SAR values and salinity classes of the selected sampling points

	Sampling point	Water body Coordinates X/Y	Average Electrical Conductivity, $\mu\text{S}/\text{cm}$	Average Sodium Adsorption Ratio, SAR	Salinity class
1	Konya Hadim Bolat Village Bridge (n=13)	Taşpınar Stream 447937.6/4103953	530±91.3	0.14±0.03	C2-S1
2	Konya Hadim Afşar Village Bridge (n=15)	Çataltaş Stream 460507.5/4084847	438±79.3	0.18±0.08	C2-S1
3	Karaman Başyayla Serper Bridge (n=20)	Kuşla Stream 479272.5/4061411	437±83.4	0.11±0.03	C2-S1
4	Karaman Bucakkışla Bıçakçı Bridge (n=20)	Göksu River 503484.1/4089231	576±91.2	0.32±0.08	C2-S1

n: number of the samplings

IV. CONCLUSION

The selected water bodies of the East Mediterranean basin executed similar irrigation properties. The electrical conductivities directed the salinity hazard to be at medium level C2 class. Because of the water bodies' medium salinity hazard, it should be careful only in the case of being used for plants that are very sensitive to salinity. Since the region's present agricultural products are not very sensitive to salinity, irrigation water is available for the subject aim. The sodium adsorption ratios were found to be rather low, and evaluation for the irrigation purpose according to the sodium content can be neglected. The selected surface waters were available for use in nearly every type of plants for irrigation purposes. The anthropogenic effect or the negative agricultural effect on the water quality should be established by detailed chemical, residue, and trace metal analysis on the water bodies.

In this study, four water bodies were selected and studied for their availability for irrigation purpose. Since incorrect quality water implementation to the plant causes losses in both the time and the effort, classification of the irrigation water is crucial and economical. The selected surface waters are readily used for the irrigation aim, and the research results support the usage of the surface waters for the intended and applied purpose. Even though these results can fill a gap, to characterize the basin in detail, other sampling points in the basin should be inquired, and an irrigation water quality map of the basin should be drawn.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank the 4th Regional Directorate of DSI (General Directorate of State Hydraulic Works) for their contribution in the laboratory and field studies.

REFERENCES

- [1] Zeder, M.A. (2008). Domestication and early agriculture in the Mediterranean Basin: Origins, diffusion, and impact. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 105, 11597-11604.
- [2] Djaman, K., Balde, A., Rudnick, D., Ndiaye, O., & Irmak, S. (2017). Long-term trend analysis in climate variables and agricultural adaptation strategies to climate change in the Senegal River Basin. *International Journal of Climatology*, 37, 2873-2888.
- [3] Ghimire, R., Bista, P., & Machado, S. (2019). Long-term Management Effects and Temperature Sensitivity of Soil Organic Carbon in Grassland and Agricultural Soils. *Scientific Report*, 9, 12151-12161.
- [4] Fang, J., & Su, Y. (2019). Effects of Soils and Irrigation Volume on Maize Yield, Irrigation Water Productivity, and Nitrogen Uptake. *Scientific Report*, 9, 7740-7751.
- [5] Bueno, M. M., Dos Santos Leles, P.S., Goncalves Abreu, J.F., Dos Santos, J.J.S., & de Carvalho, D.F. (2020). Water requirement and growth indicators of forest tree species seedlings produced with automated irrigation management. *PLoS One*, 15(11), e0238677.

- [6] Liu, J., Hu, T., Feng, P., Wang, L., & Yang, S. (2019). Tomato yield and water use efficiency change with various soil moisture and potassium levels during different growth stages. *PLoS One*, 14(3), e0213643.
- [7] Ye, S., Han, J., & Liu, T. (2019). Determination of optimum irrigation strategies and effect of drip irrigation system on growth and water use efficiency of pear jujube in Loess Hilly region of northern Shaanxi. *PLoS One*, 14(8), e0221925.
- [8] Lu, Q., Liang, S., & Xu, X. (2018). Classification and Estimation of Irrigation Waters Based on Remote Sensing Images: Case Study in Yucheng City (China). *Sustainability*, 10(10), 1-12.
- [9] Farhangi-Abriz, S., & Ghassemi-Golezani, K. (2021). Changes in soil properties and salt tolerance of safflower in response to biochar-based metal oxide nanocomposites of magnesium and manganese. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211, 111904.
- [10] Adamu, G. K. (2013). Quality of irrigation water and soil characteristics of Watari irrigation project. *American Journal of Engineering Research*, 2, 59-68.
- [11] van Zelm, E., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020). Salt Tolerance Mechanisms of Plants. *Annual Review of Plant Biology*, 71, 403-433.
- [12] Pan, N., Chen, W. P., Jiao, W. T., Zhao, Z. M., & Hou, Z. A. (2012). Soil salinity in greenland irrigated with reclaimed water and risk assessment. *Huan Jing Ke Xue*, 33(12), 4088-4093.
- [13] Topak, R., & Acar, B. (2010). Agriculture and Water Resources of Karaman: Potential, Water Use in Agriculture and Reasons of Water Problems on Konya Basin. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 3(1), 1-5.
- [14] Todd, D. K. & Mays, L. W. (2005). *Groundwater Hydrology Edition: 3rd*. John Wiley and Sons, 656.
- [15] Shahid, S.A. & Mahmoudi, H. (2014). *National strategy to improve plant and animal production in the United Arab Emirates*. Soil and water resources Annexes, 113-131.
- [17] Topcu, E. (2016). *Çanakkale–Biga Ovası Yer Altı Su Kalitesinin Sulama Suyu Açısından Değerlendirilmesi*. Master Thesis, Çanakkale Onsekiz Mart University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Çanakkale.
- [18] Altın, R. (2019). *Muğla-Dalaman Yöresi Sulama Sularının Sulama Suyu Kalitelerinin Belirlenmesi ve Mevsimsel Değişiminin İncelenmesi*. Master Thesis, Akdeniz University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Antalya.
- [19] Kaplan, G. (2020). *Kütahya-Alayunt Köyü Tarım Arazilerindeki Su Kaynaklarının Sulama Suyu Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi*. Master Thesis, Selçuk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Konya.
- [20] Gökçekli, C. (2017). *Karabük ve Çevresindeki Yeraltı Sularının İçme Suyu ve Sulama Suyu Açısından Kullanılabilirliğinin İncelenmesi*. Master Thesis, Karabük University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Karabük.
- [21] Sarcan, A. (2008). *Konya İli Hadim İlçesi Kullanım Sularının Kalitesinin Belirlenmesi ve Dezenfeksiyon Yönteminin Etkinliğinin Araştırılması*. Master Thesis, Selçuk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Konya.
- [22] Dorak, S. (2015). *Nilüfer Çayı ve Nilüfer Çayı'na Deşarj Edilen Kimi Arıtma Tesisi Atık Sularının Sulama Suyu Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi*. Master Thesis, Uludağ University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Bursa.

Araştırma Makalesi – Research Article

Homojen ve Heterojen Filolu, Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi İçin Bir Uygulama

An Application for the Homogeneous and Heterogeneous Fleet, Capacity Constrained Vehicle Routing Problem

Adem Şehitoğlu^{1*}, Çerkez Ağayeva²

Geliş / Received: 11/06/2021

Revize / Revised: 03/02/2022

Kabul / Accepted: 03/03/2022

ÖZ

Günümüz rekabet dünyasında firmalar ürünlerinin müşterilerine ulaştırılması aşamasında, büyük bir öneme sahip olan lojistik desteği sağlamak adına maksimum bir çaba içerisindeyler. Araç rotalama problemleri (ARP), Lojistik problemlerinin en önemli son aşamasıdır. Araç rotalama problemleri, en kısa mesafede ve en kısa sürede müşterilerinin taleplerini karşılayacak şekilde bir depodan aynı veya farklı kapasitelerdeki araçlar ile optimale yakın rotaların bulunması problemleridir. ARP, artan çeşitleri ile firmalara en iyi sonuçları sunmaya devam etmektedir. Bu çalışmada bir ekmek fabrikasının 20 markete ekmek dağıtımını sırasında kullandığı gerçek mesafeler ve koordinatlar kullanılarak rotalar oluşturulmuştur. Bu gerçek hayat problemini modellemede klasik kapasiteli araç rotalama modeli hem homojen hem de heterojen filolu olarak modellenmiştir. Problem için optimale yakın çözümü, tavlama benzetimi (TB) algoritması kullanılarak Matlab’da hesaplanmıştır. TB ile elde edilen meta sezgisel çözümler ekmek fabrikasının kendi rotaları ile karşılaştırılmıştır. TB ile elde edilen optimale yakın sonuçlar yapılan tüm testlerde fırının kendi toplam rota mesafelerinden daha iyi sonuçlar vermiştir. TB algoritmasını kullanarak, iki araç ile yapılan dağıtım sırasında oluşan toplam rota mesafesinin fırın ile en büyük farkı 8,8 km’dir. TB’de üç araç ile yapılan dağıtım sırasında oluşan toplam rota mesafesinin fırın ile en büyük farkı 6,5 km olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler- Optimizasyon, Araç Rotalama, Tavlama Benzetimi

ABSTRACT

In today's competitive world, companies make a maximum effort to provide logistics support, which is of great importance, during the delivery of their products to their customers. Vehicle routing problems (VRP) are the most important last stage of Logistics problems. Vehicle routing problems are the problems of finding near-optimal routes with vehicles of the same or different capacities from a warehouse to meet the demands of customers in the shortest distance and in the shortest time. VRP continues to offer the best results to companies with its increasing variety. In this study, routes were created by using the actual distances and coordinates used by a bread factory during the distribution of bread to 20 markets. In modelling this real-life problem, the classical capacity vehicle routing model is modelled as both homogeneous and heterogeneous fleets. Then ear-optimal solution for the problem is calculated in Matlab using the Simulated Annealing (SA) algorithm. The meta-heuristic solutions obtained with TB were compared with the bread factory's own routes. Then ear-optimal results obtained with the TB gave better results than the total route distances of the furnace itself in all tests. Using the TB algorithm, the

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: a.sehitoglu@alparslan.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-7598-5348>)

İlköğretim Matematik Eğitimi, Muş Alparslan Üniversitesi, Eğitim Fakültesi Muş

²İletişim: c.agayeva@alparslan.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-0507-9785>)

İktisat Bölümü, Muş Alparslan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Muş

greatest difference between the total route distance and the furnace during the distribution with two vehicles is 8.8 km. The greatest difference between the total route distance and the furnace during the distribution made with three vehicles in the TB was calculated as 6.5 km.

Keywords- Optimization, Vehicle Routing, Simulated Annealing

I. GİRİŞ

Lojistik ve taşımacılık, gelişmiş ülke ekonomilerinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu nedenle, hükümetler ve özel şirketler dikkatlerini lojistik yöneticilerinin maliyetleri düşürmelerine ve daha fazla esneklik elde etmelerine yardımcı olabilecek sistemler geliştirmeye odaklanılmışlardır. Lojistik alanında pek çok araştırma yapılmış, seyyar satıcı probleminden karmaşık dinamik rotalama problemlerine kadar birçok teknik hâlihazırda geliştirilmiştir. Lojistikte öne çıkan problemlerden biri araç rotalama problemidir [1]. Klasik araç rotalama problemi, önceden tanımlanmış bir ağ üzerinde belirli bir müşteri grubuna hizmet vermek için bir araç filosu tarafından kullanılan optimum rota kümesini bulmaktır. ARP'de amaç toplam seyahat maliyetini (seyahat süreleri veya toplam mesafe) ve operasyonel maliyeti (kullanılan araç sayısı) en aza indirmektir [2]. Bu kombinatoriyal problem en basit haliyle NP-Zor problemlerdendir [3]. Bu problem ilk olarak 1959'da Dantzig ve Ramser tarafından servis istasyonlarına benzinin teslimatı ile ilgili gerçek dünyadaki bir uygulamayı çözmek için ortaya çıktı [4]. 1964'te Clarke ve Wright, dağıtım noktalarının sayısı büyükse, merkezi bir depodan bir dizi teslimat noktasına değişen kapasitelerdeki bir kamyon filosunun optimum şekilde yönlendirilmesi ve çok sayıda olası rotadan seçim yapılmasını gerektiren ARP için ilk olacak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir [5]. Bu problemin çok daha ayrıntılı ve kapsamlı çalışmaları Bramel ve Simchi-Levi [6], Toth ve Vigo'da [7] bulunabilir. Artan ürün çeşidi ve uzayan mesafeler haliyle araç rotalama problemlerinde de karmaşıklığın artmasına, çözümün zorlaşmasına neden olmaktadır. Çözüm için sezgisel ve meta sezgisel algoritmalar bu zorluğu ortadan kaldırmak için ideal sonuçlar vermektedir. Optimizasyon problemlerine uygulanan Tavlama benzetimi (TB) ilk olarak Kirkpatrick ve ark [8] ve Cerny'nin [9] çalışmalarından ortaya çıkar.

Günümüzde tavlama benzetimi algoritması, araç rotalama problemlerini çözmek için en başarılı yöntemlerden biri olarak dikkat çekmeye devam etmektedir. Tavlama benzetimi, ilk olarak Kapasiteli ARP'yi (KARP) çözmek için iyi bilinen tabu arama ile hibridizasyon öneren Osman [10] tarafından kullanılmıştır. Breedam [11], standart ARP'yi çözmek için TB'ye dayalı gelişmiş bir sezgisel yöntem önermiştir. Chiang ve Russell [12] çalışmalarında iki farklı komşuluk yapısının incelendiği ve tavlama işleminin tabu listesi aracılığıyla kısa süreli bellek işlevi ile geliştirildiği zaman pencereci kısıtlı bir ARP'yi çözmek için TB'yi uygulamışlardır. Rabbouch ve ark. [13] çalışmalarında tavlama benzetimi algoritmasını kapasiteli ve diğer araç rotalama problemlerini çözmek için TB nin yeni bir dinamik versiyonunu tanımlamışlardır. Bu algoritma ile yapılan arama sürecinin daha doğru karara ve optimuma daha hızlı ulaşıldığını belirtmişlerdir. İlhan [14] çalışmasında kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için tavlama benzetimi algoritması kullanmıştır. Algoritmanın değişim, ekleme ve ters çevirme operatörü olmak üzere üç farklı rota geliştirme operatörünü kullanmıştır. Wei ve ark. [15] yaptıkları çalışmada problemi çözmek için tekrarlanan soğutma ve sıcaklık artışına sahip yeni bir TB çerçevesi geliştirmişlerdir. Tavlama benzetimi algoritmasının mevcut tüm algoritmalarından daha iyi performans gösterdiği ve çoğu örnek için en iyi bilinen çözümlerle eşleştiğini veya iyileştirdiğini iddia etmişlerdir. Tavakkoli-Moghaddam ve ark. [16] çalışmalarında önerdikleri modeli, en yakın komşuluğa dayalı olarak hibrit tavlama benzetimi ile çözmüşlerdir. Önerilen modelin, tüm müşterilere minimum araç sayısı ve kullanılan maksimum kapasite ile hizmet verecek rotaların oluşturulmasına imkân verdiğini göstermişlerdir. Xiao ve ark. [17] KARP problemini çözmek için hibrit değişim kuralı ile tavlama benzetimi algoritması geliştirmişlerdir. Yalçiner [18] çalışmasında işletmeler için, değişken konum sayısı ve değişken araç sayısı ile oluşan problemler için farklı modeller oluşturularak bu modellere yönelik belirli kısıtlar doğrultusunda minimum mesafeyi elde etmeyi amaçlayan bir optimizasyon modeli sunmuş ve tavlama benzetimi algoritmasını kullanmıştır.

Ulutaş ve ark. [19] çalışmalarında bir fırının, 15 markete ekmek tedarikindeki araç rotalama problemini çözmek için tasarruf algoritması kullanmışlardır. Algoritma işlemlerini hesaplarken, herhangi bir özel yazılım kullanılmamış, hesaplamaları MS Excel ile yapmışlardır. Okur ve Atlas [20] çalışmalarında meta sezgisel çözüm tekniklerinden biri olan Genetik algoritmayı kullanarak Halk Ekmek A.Ş.'nin müşteri taleplerini karşılayacak rota mesafesini minimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla, algoritmadan yararlanılarak Halk Ekmek A.Ş.'nin dağıtım araçlarının, satış noktalarına en kısa mesafede rota hesaplamasına optimum çözümü aramışlar ve mevcut durum ile karşılaştırma yapmışlardır.

Taillard [21], çalışmasında heterojen bir araç filosu ile araç rotalama problemlerini çözmek için sezgisel bir sütun oluşturma yöntemi sunmaktadır. Sayısal sonuçlar, yöntemin özellikle orta ve büyük boyutlu problem örnekleri için sağlam ve verimli olduğunu göstermiştir. Yousefikhoshbakht ve ark.[22], Heterojen filoya sahip bir ARP'nin çözümü için tabu arama yöntemi geliştirmişlerdir. Çetin ve Gencer [23], çalışmalarında heterojen araç filolu kesin zaman pencereli, eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemini tanımlamaktadırlar. Tanımlanan problem için matematiksel model önermişler ve literatürde yer alan Solomon test problemlerini talep açısından düzenleyerek, 5, 10, 15, 20 müşterili örnekler için test etmişlerdir.

ARP'de yapılan çalışmalar her geçen gün daha karmaşık hale gelen problemlere çözüm aramaktadır. Bu çalışmada ele aldığımız kapasiteli ARP, hem homojen hem de heterojen filolu olarak test edilmiştir. Test sonuçları meta sezgisel çözüm yöntemlerinden tavlama benzetimi algoritması ile elde edilmiştir. Uygulamada bir ekmek fabrikasının güncel verilerinden yararlanarak, gerçek koordinatlar, bilinen rotalar ve bir günlük müşteri talepleri esas alınarak farklı çözüm testleri ile firmanın rotasına iyileştirmeler sunulmuştur.

II. MATERYAL VE METOT

Araç rotalama problemleri merkezi bir depodan farklı konumlarda bulunan noktalara bilinen taleplerle farklı rota kümesi bulma problemlerindedir [24]. ARP'nin çözümü zor ve bir hayli zaman almaktadır. Bu sebeple çözüm için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Meta sezgisel bir algoritma olan tavlama benzetimi, bu çalışmada ele aldığımız problemin çözümünde kullanılmıştır. ARP için önerilen matematiksel model ve TB algoritması sonraki kısımda gösterilmiştir.

A. Araç Rotalama Problemi İçin Önerilen Matematiksel Model

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi (KARP) bir $G = (V, A)$ ağ (graph) üzerinde tanımlanır. Burada $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ bir dizi düğüm (vertex) ve $A \subseteq \{(v_i, v_j) : i \neq j, v_i, v_j \in V\}$ yay (arc) kümesidir [2]. Kapasiteli ARP, bir firmanın deposundan kapasite kısıtlı olan araçlarının, talepleri bilinen müşterilerine hizmet yapmak için izlemesi gereken rotaların bulunması problemidir [25]. KARP'de müşteri talepleri rotadaki araçların kapasitesinden fazla olmaması gerekir. Bu çalışmadaki problem için KARP'nin matematiksel modeli [1] ve [26]'den yararlanılarak aşağıdaki şekilde yazılmıştır.

Parametreler:

- K = Araç sayısı,
- Q = Araç kapasitesi,
- Q_k = aracının kapasitesi,
- N = Müşteri veya durak sayısı,
- q_i = i ($i > 0$)müşterisinin talep miktarı,
- C_{ij} = i müşteri ile j müşteri arasındaki uzaklık,

Değişkenler:

x_{ijk} = k nolu araç i müşterisinden j müşterisine gidiyorsa 1 aksi durumda 0'dır.

burada $i \neq j$, $i, j \in \{0, \dots, N\}$ ve 0 depo

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } \sum_{i=0}^N \sum_{j=0, i \neq j}^N \sum_{k=1}^K C_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^N x_{ijk} = K, \quad i = 0 \text{ için} \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0, i \neq j}^N x_{ijk} = 1, \quad \forall j, j \in \{1, \dots, N\} \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0, i \neq j}^N x_{ijk} = 1, \quad \forall i, i \in \{1, \dots, N\} \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0, j \in S}^N x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0, i \neq j}^N x_{ijk} \leq Q \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ijk} \leq 1, \quad k \in \{1, \dots, K\} \quad (7)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \forall ij \in V, \forall k \in K \quad (8)$$

Modelde, Denklem (1) amaç fonksiyonu toplam gidilen mesafenin minimum yapılması gerektiğini ifade eder. Denklem (2) işletmeden K adet aracın çıkış yapacağını sağlamaktadır. Denklem (3) ve (4) bir müşterinin yalnızca bir araç tarafından ziyaret edilmesini ve müşteriden çıkılacak yollardan yalnızca bir tanesinin kullanılmasının zorunlu olduğunu sağlamaktadır. Denklem (5), depodan başlamayan ve depoda tamamlanmayan turları elemek için kullanılır, bu kısıt depoyu içermeyen müşterilerin olası her alt kümesi S için eklenir. Denklem (6) araçlara yükleme yapılırken araç kapasitesi olan Q'yu geçmemesi gerektiğini belirtir. Denklem (7) bir aracın işletmeden bir defa çıkacağını dolayısı ile rotada bir defa kullanılacağını belirtir. Denklem (8) x_{ijk} değişkeninin tam sayı olması ile ilgilidir [18].

Araç filosunun heterojen olduğu durumda Denklem (6) yerine aşağıdaki Denklem (9) modele eklenerek araç kapasitelerinin farklı olduğu durumda rota hesaplaması yapılmaktadır [16].

$$\sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0, i \neq j}^N x_{ijk} \leq Q_k \quad (9)$$

Yukarıda matematiksel modeli verilen problem için kısa süre içerisinde iyi çözüm bulabilmek amacıyla tavlama benzetimi algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın adımları sonraki bölümde açıklanmıştır.

B. Tavlama Benzetimi (TB)

İlk olarak 1953'te Metropolis [27] tarafından geliştirilmiş olan Tavlama benzetimi algoritması, bir denge durumuna (sabit donma durumu) yakınsayınca kadar, soğutma işlemine tabi tutulan bir sistemdeki enerji değişikliklerini simüle eden stokastik arama algoritmasıdır.

Bu algorithmada katıların düşük enerjili hallerini bulmak için kullanılan fiziksel tavlama süreciyle bir benzetmeden hareket edilmiştir. Yoğun madde fiziğinde tavlama, bir katının ilk olarak sıcaklığının artırılarak eritildiği bir süreci ifade eder, bunu daha düşük enerjinin katı halini geri kazanmayı amaçlayan aşamalı bir sıcaklık düşüşü izler. Soğutma çok hızlı yapılırsa, katının yapısında yaygın düzensizlikler ortaya çıkar ve bu da nispeten yüksek enerji durumlarına yol açar. Diğer taraftan, sıcaklığın dengeye ulaşmak için her seviyede yeterince uzun tutulduğu bir dizi seviye boyunca dikkatli bir tavlama, düşük enerji durumlarıyla ilişkili daha düzenli yapılara yol açar. Temel olarak, sıcaklığın mevcut enerji seviyesinden çok uzaklaşması engellendiğinde, sürecin yüksek enerji durumunda sıkışıp kalması daha az olasıdır.

Uygulama problemlerinde TB algoritması mevcut çözümde, çözüm maliyetinde artışa yol açan değişikliğin bir olasılıkla kabul edildiği rastgele bir yerel arama yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Birleşimsel Eniyileme (Combinatorial Optimization) bağlamında ise bir çözüm fiziksel sistemin belirli durumuna ve çözümün amaç fonksiyonu değeri ise sistemin enerjisine karşılık gelir. Her yinelemede, mevcut çözüm, belirli bir dönüşüm sınıfından (çözümlerin komşularını tanımlayan) rastgele bir hareket seçilerek değiştirilir. Yeni çözüm bir iyileştirme sağlarsa, otomatik olarak kabul edilir ve yeni mevcut çözüm olarak kabul edilir. Aksi takdirde yeni çözüm,

$$p = e^{(-\frac{\Delta}{kT})} \quad (11)$$

Denklem (11)'deki Metropolis olasılık kriterine göre kabul edilir. Denklem (11)'de; Δ , Amaç (Enerji) fonksiyonundaki değişim, T, Sıcaklık parametresi, k, Boltzmann sabitini göstermektedir. Belirtilen kriterle dayanarak, sıcaklık yüksek ve maliyet artışı düşük olan bir hareketin kabul edilmesi daha olası bir durum gibi görünmektedir. Sıcaklık parametresi, önceden tanımlanmış bazı soğutma programına göre kademeli olarak düşürülerek, her sıcaklık seviyesinde belirli sayıda iterasyon gerçekleştirilir. Sıcaklığın yeterince düşük değerlerinde yalnızca iyileştirme hareketleri kabul edilir ve süreç yerel bir optimumda durur. Çoğu meta sezgisel aksine, bu yöntem global optimuma asimptotik olarak yakınsar (sonsuz sayıda iterasyon varsayılırsa) [28]. Metropolis algoritması terimlerinin Birleşimsel Eniyileme (Combinatorial Optimization) problemlerine karşılık geldiği terimler Tablo 1'deki gibidir. [29].

Tablo 1. Metropolis algoritması terimlerinin Birleşimsel Eniyileme (Combinatorial Optimization) problemlerindeki karşılığı

Termodinamik Benzetimi	Birleşimsel En İyileme
Sistem kararlı bir hal alır	Uygun çözüm bulunur
Enerji	Maliyet
Durum değişikliği	Komşu çözüm
Sıcaklık	Parametre
Donmuş hal	Sezgisel çözüm

TB algoritmasının amacı; tüm olası çözüm noktalarının (S) alt kümesinde tanımlanmış bir $f(x)$ fonksiyonunu optimum yapacak bir x çözümü bulmaktır. TB algoritması rasgele seçilen bir başlangıç çözümü ile aramaya başlar. Sonra uygun bir yöntem ile bu çözüme komşu bir çözüm seçer ve $f(x)$ ' de meydana gelen değişimi hesaplar. Eğer değişim istenen doğrultuda ise komşu çözüm mevcut çözüm olarak alır. Eğer istenilen yönde bir değişim gerçekleşmemişse, TB algoritması çözümü Metropolis olasılık kriterine göre kabul eder. Amaç fonksiyonunda aksi yönde bir değişim yaratan çözümün belli olasılık değeri ile kabulü, TB algoritmasının yerel optimum noktalardan kurtulmasını sağlamaktadır. Denklem (11)'deki olasılık değerine göre T sıcaklık değeri yüksek olduğunda amaç fonksiyonunda meydana gelen artışların birçoğu kabul edilecektir. T sıcaklık değeri azaldıkça kabul edilme miktarında azalacaktır. Bu sebeple TB algoritmasında yerel noktalara takılmamak için başlangıç sıcaklık değeri yeterli derecede yüksek seçilerek kademeli olarak azaltılmalıdır [30]. Herhangi bir optimizasyon probleminin çözümünde TB algoritmasını kullanabilmek için bazı parametrelerinin önceden belirlenmesi gerekir. Bu parametreler: Başlangıç sıcaklığı (T_0); kötü çözümlerin kabul olasılığını kontrol için kullanılır. Her sıcaklıktaki gerekli iterasyon sayısı; her sıcaklıkta üretilen mümkün çözümlerin sayısıdır. Soğutma fonksiyonu; bir önceki yinelemedeki sıcaklığı esas alarak mevcut iterasyondaki sıcaklığı belirler. Algoritmayı durdurma kriteri; her sıcaklık değişiminde bulunan çözüm değişmiyor ise TB durdurulur [31].TB algoritmasının adımları aşağıda Şekil 1'de gösterilmiştir [32].

Adım 1: Başlangıç çözümünü oluştur (S), Başlangıç sıcaklığını belirle (T)
Soğutma çizelgesini belirle (t), Kabul olasılık fonksiyonunu belirle.
Durdurma koşulunu belirle, Maxit: iterasyon sayısını belirle.
Araç çalışma dengesini (mesafe) sağlayan değeri belirle (eta)
Kapasite hatasına azaltma değerini belirle (beta), Çözüm listesi (ÇL) = { \emptyset }

Adım 2: TB algoritması ile çözümü iyileştir.
Adım 2.1:Sırasıyla N_k komşuluk (swap) yapıları kümesini belirle($k=1,2,\dots,k_{mak}$)
Adım 2.2: Sırasıyla N_k 'da bulunan tüm komşuluk yapıları için sırasıyla S' 'den S' aday çözümlerini üret.
 $\Delta = 100 * (f(S') - f(S)) / f(S)$ değerini hesapla.
Eğer $\Delta \leq 0$ ise S' aday çözüm olarak belirle ve ÇL'ye S' aday çözümünü ekle.
Eğer $\Delta > 0$ ise Kabul olasılık değerini hesapla $e^{-\frac{\Delta}{T}}$ 0-1 arası rassal bir sayı üret (u)
Eğer $u \leq e^{-\frac{\Delta}{T}}$ ise S' aday çözüm olarak belirle ve ÇL'ye S' aday çözümünü ekle.
Adım 3.3: ÇL'de yer alan tüm komşu çözümlerden en fazla tasarrufu sağlayanı seç ve $S \leftarrow S'$ olarak belirle.
ÇL={ \emptyset } olarak güncelle.
Sıcaklığı güncelle.
Durdurma koşulu sağlanmamışsa ise Adım 2'ye, sağlanmışsa Adım 3'e git.

Adım 3:Algoritmayı sonlandır.

Şekil 1. TB Algoritmasının sözde kodu

III. HESAPLAMALAR VE TARTIŞMA

Uygulamadan elde edilen hesaplamalar aşağıda tartışılmıştır.

A. Uygulama

Bu çalışmadaki amaç yukarıda belirtilen meta sezgisel algoritmanın reel bir probleme uygulanmasını test etmektir. Bu doğrultuda bir ekmek fabrikasından 20 markete ekmek dağıtım sırasında oluşacak minimum mesafeli rota seçimi için bir modelin önerilmiştir. Problem için optimale yakın TB algoritma sonuçları işletmeden alınan gerçek veriler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan hesaplamalar homojen araç filosu yanı sıra heterojen araç filosu için Matlab'da hesaplanmıştır. Uygulamadan elde edilen test sonuçları her bir marketin taleplerini karşılayacak şekilde en iyi rotaların oluşturulduğunu göstermektedir. İncelenen problemin optimale yakın çözümünü elde etmek için TB algoritmasının belirli parametreleri değişikliğe tabi tutulmuştur. Tablo 2'de fırın ve dağıtım yapılan şubelerin reel verileri gösterilmiştir.

Tablo 2. Fırın ve şubelerin talep koordinatları

Şubeler	Talepler	X:koordinatı	Y:koordinatı
0	0	38.501519	43.365744
1	100	38.501839	43.347999
2	50	38.508733	43.343258
3	40	38.511176	43.342136
4	180	38.510165	43.338314
5	50	38.515111	43.331111
6	60	38.515376	43.330300
7	50	38.515884	43.327705
8	50	38.518368	43.326611
9	180	38.521300	43.317500
10	60	38.519110	43.314000
11	30	38.517785	43.323800
12	80	38.514785	43.348711
13	30	38.522201	43.355189
14	30	38.516415	43.358828
15	30	38.512969	43.362555
16	35	38.512122	43.356901
17	30	38.510693	43.359911
18	60	38.512309	43.360057
19	40	38.510608	43.363375
20	60	38.511718	43.365779
Toplam talep	1245	-	-

Tablo 2’de 0 ile fırın ve 1-20 olarak ise marketler (şube) gösterilmiştir. Şubelerin coğrafi koordinatları ekmek dağıtımını yapılan marketlerden yerinde tespit yapılarak alınmıştır. Şubeler arası ve fırın ile şubeler arasındaki mesafeler Google Maps üzerinden koordinatlar arası gerçek karayolu uzaklıkları hesaplanmıştır. Uzaklık matrislerinde hesaplanan sayısal değerler km olarak hesaplanmıştır. Bu bilgilerin ekmek fabrikasının kullandığı veriler ile aynı olduğu tespit edilerek uzaklık matrisleri Tablo 3 ve Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 3. Şubeler arası uzaklık matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	1.1	1.4	1.9	2.8	2.9	3.2	3.6	4.1	4.3	3.6	1.8	3.4	2.5	1.8	2.9	1.5	2.7	1.8	2.3
2	1.1	0	0.3	0.8	1.7	1.8	2.0	2.0	3.0	3.2	2.5	1.6	3.2	2.7	2.9	3.3	2.4	3.1	2.8	3.3
3	1.4	0.3	0	0.6	1.5	1.5	1.8	1.8	2.7	2.9	2.2	1.4	3.0	2.4	2.6	3.1	2.5	2.8	2.6	3.0
4	1.9	0.8	0.6	0	1.2	1.3	1.5	2.1	3.0	3.2	2.5	1.7	3.3	2.7	2.9	3.4	2.8	3.1	2.9	3.3
5	2.8	1.7	1.5	1.2	0	0.1	0.3	1.0	1.9	2.1	0.7	1.8	3.4	2.8	3.0	3.5	2.9	3.2	3.0	3.4
6	2.9	1.8	1.5	1.3	0.1	0	0.3	1.0	2.0	2.2	0.7	1.9	3.5	2.9	3.1	3.6	3.0	3.3	3.1	3.5
7	3.2	2.0	1.8	1.5	0.3	0.3	0	1.3	1.2	1.4	0.4	2.2	3.8	3.2	3.4	3.9	3.3	3.6	3.4	3.8
8	3.6	2.0	1.8	2.1	1.0	1.0	1.3	0	1.0	1.1	0.5	2.7	4.7	3.7	3.9	4.4	3.8	4.1	3.9	4.3
9	4.1	3.0	2.7	3.0	1.9	2.0	1.2	1.0	0	0.7	0.8	3.0	4.6	4.0	4.2	4.7	4.1	4.5	4.2	4.7
10	4.3	3.2	2.9	3.2	2.1	2.2	1.4	1.1	0.7	0	0.1	3.2	5.0	4.3	4.4	4.9	4.3	4.7	4.4	4.9
11	3.6	2.5	2.2	2.5	0.7	0.7	0.4	0.5	0.8	0.1	0	2.5	4.2	3.6	3.8	4.2	3.6	4.0	3.7	4.2
12	1.8	1.6	1.4	1.7	1.8	1.9	2.2	2.7	3.0	3.2	2.5	0	1.6	1.2	1.4	2.2	1.3	2.0	1.4	1.9
13	3.4	3.2	3.0	3.3	3.4	3.5	3.8	4.7	4.6	5.0	4.2	1.6	0	1.3	2.1	2.7	2.4	2.4	2.5	2.3
14	2.5	2.7	2.4	2.7	2.8	2.9	3.2	3.7	4.0	4.3	3.6	1.2	1.3	0	0.7	1.3	1.0	1.0	1.1	1.2
15	1.8	2.9	2.6	2.9	3.0	3.1	3.4	3.9	4.2	4.4	3.8	1.4	2.1	0.7	0	0.6	0.4	0.4	0.5	0.8
16	2.9	3.3	3.1	3.4	3.5	3.6	3.9	4.4	4.7	4.9	4.2	2.2	2.7	1.3	0.6	0	1.0	1.0	1.1	1.5
17	1.5	2.4	2.5	2.8	2.9	3.0	3.3	3.8	4.1	4.3	3.6	1.3	2.4	1.0	0.4	1.0	0	1.3	0.4	0.8
18	2.7	3.1	2.8	3.1	3.2	3.3	3.6	4.1	4.5	4.7	4.0	2.0	2.4	1.0	0.4	1.0	1.3	0	1.5	1.9
19	1.8	2.8	2.6	2.9	3.0	3.1	3.4	3.9	4.2	4.4	3.7	1.4	2.5	1.1	0.5	1.1	0.4	1.5	0	0.5
20	2.3	3.3	3.0	3.3	3.4	3.5	3.8	4.3	4.7	4.9	4.2	1.9	2.3	1.2	0.8	1.5	0.8	1.9	0.5	0

Tablo 4. Fırın ile her bir şube arası uzaklık

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.6	2.5	2.8	3.3	4.2	4.3	4.5	4.5	5.5	5.7	5.9	3.5	4.7	4.3	3.2	2.7	2.9	2.5	3.2	3.6

Tablo 5'te iki araç için 8 farklı testte uygulanan parametreler; Maxit:1000, T:0,99 beta:10 olarak alınmıştır.

Tablo 5. İki araçlı durum için test sonuçları

Testler	Araçlar	Rotalar	Araç Kapasitesi	Rota talebi	Araçların aldığı mesafe (km)	Toplam mesafe
Test 1	1.Araç	0-1-12-13-14-20-19-17-16-15-18-0	800	495	12,9	24,6
	2.Araç	0-2-4-5-6-7-11-10-9-8-3-0	800	750	11,7	
Test 2	1.Araç	0-2-3-8-9-10-11-7-6-5-4-0	800	750	11,7	24,6
	2.Araç	0-1-12-13-14-20-19-17-15-16-18-0	750	495	12,9	
Test 3	1.Araç	0-2-3-8-9-10-11-7-6-5-4-0	800	750	11,7	24,6
	2.Araç	0-18-16-15-17-19-20-14-13-12-1-0	700	495	12,9	
Test 4	1.Araç	0-3-4-5-6-7-11-10-9-8-2-0	800	750	11,7	24,6
	2.Araç	0-1-12-13-14-20-19-17-16-15-18-0	600	495	12,9	
Test 5	1.Araç	0-16-15-17-19-20-14-13-12-3-2-1-0	750	525	13,1	26,8
	2.Araç	0-4-5-6-7-11-10-9-8-18-0	750	720	13,7	
Test 6	1.Araç	0-2-4-5-6-7-11-10-9-8-3-0	750	750	11,7	24,6
	2.Araç	0-18-16-15-17-19-20-14-13-12-1-0	700	495	12,9	
Test 7	1.Araç	0-16-19-20-14-13-4-3-2-1-0	700	595	13,7	27,2
	2.Araç	0-8-9-10-11-7-6-5-12-17-15-18-0	700	680	13,5	
Test 8	1.Araç	0-1-2-4-12-13-14-20-19-17-15-18-0	700	690	13,5	26,9
	2.Araç	0-3-8-9-10-11-7-6-5-16-0	650	555	13,4	

Tablo 5'te iki araç için yapılan testlerde optimale yakın sonuçları sağlayabilmek için bazı parametreler değiştirilerek uygun sonuçlar sağlanmıştır. Bunun için test 1, test 2, test 3, test 6 ve test 8'de $\eta=0,1$ değeri yeterli olduğu tespit edildiği halde, test 5, test 7'de olumsuz sonuçlar (kapasite aşımı) alındığı için bu testlerde hesaplamalar $\eta=0,2$ ile gerçekleştirilmiştir. Kat edilen toplam mesafelerin optimize edilmesi ve taleplerin karşılanması için, test 1, test 2, test 3 ve test 8'de başlangıç sıcaklığı; T_0 : 200 °C ve test 4, test 5, test 6 ve test 7'de T_0 : 300 °C olarak alınmıştır. Bu parametre değerleri ile sağlanan optimal yaklaşım sonuçları, Tablo 6'da verilen fırının kendi toplam rota sonuçlarından daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6. Fırının iki araçlı durumu için gerçek verileri

Araç sayısı:2	Rotalar	Araç Kapasitesi	Rota talebi	Araçların aldığı mesafe (km)	Toplam mesafe
1.Araç	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-0	800	760	13	33,4
2.Araç	0-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-0	800	485	20,4	

Tablo 7 de üç araç için 7 farklı testte uygulanan parametreler; Maxit:1000, T:0,99 olarak alınmıştır.

Tablo 7. Üç araçlı durum için test sonuçları

Testler	Araçlar	Rotalar	Araç Kapasitesi	Rota talebi	Araçların aldığı mesafe (km)	Toplam mesafe
Test 1	1.Araç	0-18-14-13-20-19-15-16-0	600	285	11,4	32,2
	2.Araç	0-8-9-10-11-7-6-5-3-2-0	600	570	11,4	
	3.Araç	0-1-17-12-4-0	600	390	9,4	
Test 2	1.Araç	0-16-15-20-19-17-1-0	500	295	8,1	30,9
	2.Araç	0-18-14-13-12-4-3-2-0	500	470	11,5	
	3.Araç	0-8-9-10-11-7-6-5-0	500	480	11,3	
Test 3	1.Araç	0-5-6-7-11-10-9-8-0	600	480	11,3	32,4
	2.Araç	0-18-14-13-20-19-1-0	550	320	11	
	3.Araç	0-16-15-17-12-4-3-2-0	500	445	10,1	
Test 4	1.Araç	0-2-3-4-12-13-14-18-0	700	470	11,5	30,9
	2.Araç	0-1-17-19-20-15-16-0	600	295	8,1	
	3.Araç	0-5-6-7-11-10-9-8-0	500	480	11,3	
Test 5	1.Araç	0-4-12-13-14-18-0	700	380	11,4	30,9
	2.Araç	0-1-17-19-20-15-16-0	700	295	8,1	
	3.Araç	0-2-3-8-9-10-11-7-6-5-0	700	570	11,4	
Test 6	1.Araç	0-4-12-13-14-18-0	800	380	11,4	30,9
	2.Araç	0-16-15-20-19-17-1-0	700	295	8,1	
	3.Araç	0-2-3-6-5-7-11-10-9-8-0	600	570	11,4	
Test 7	1.Araç	0-1-17-19-20-15-16-0	800	295	8,1	30,9
	2.Araç	0-4-12-13-14-18-0	800	380	11,4	
	3.Araç	0-8-9-10-11-7-6-5-3-2-0	800	570	11,4	

Tablo 7’de üç araç ile 7 farklı testte uygulanan parametre değerleri; test 1, test 5, test 6 ve test 7’de $\eta=0,1$ değeri yeterli olduğu tespit edildiği halde test 2, test 3, test 4’te olumsuz sonuçlar alındığı için bu testlerde hesaplamalar $\eta=0,2$ ile gerçekleştirilmiştir. Test 5, test 6 ve test 7’de $\beta=10$, test 2, test 3 ve test 4’te olumsuz sonuçlar alındığı için bu testlerde hesaplamalar $\beta=20$ alınmıştır. Test 1 ve test 7’de T_0 : 200 °C ve test 2, test 3, test 4, test 5 ve test 6’da T_0 : 300 °C olarak alınmıştır. Bu değerler, Matlab’da tavlama benzetim algoritmasından optimale yakın sonuçları almak için uygulanan farklı parametre değerleridir. Tablo 7’de 3 araç ile yapılan testlerden elde edilen toplam rota mesafeleri, tablo 8’deki fırının toplam rota mesafesinden daha iyi sonuçlar alınmıştır.

Tablo 8. Fırının üç araçlı durumu için gerçek verileri

Araç sayısı:3	Rotalar	Araç Kapasitesi	Rota talebi	Araçların aldığı mesafe (km)	Toplam mesafe
1.Araç	0-1-2-3-4-5-6-7-0	800	530	9,7	37,4
2.Araç	0-8-9-10-11-12-13-14-0	800	460	16	
3.Araç	0-15-16-17-18-19-20-0	800	255	11,7	

Tablo 9. Tavlama benzetimi algoritması ile mevcut durumun karşılaştırılması

Test	Araç sayısı	Filo durumu	Tavlama benzetimi (km)	Fırının mesafesi (km)	Fark (km)	Kazanç %
Test 1	2	Homojen	24,6	33,4	8,8	%26,34
Test 2	2	Heterojen	24,6	33,4	8,8	%26,34
Test 3	2	Heterojen	24,6	33,4	8,8	%26,34
Test 4	2	Heterojen	24,6	33,4	8,8	%26,34
Test 5	2	Homojen	26,8	33,4	6,6	%19,76
Test 6	2	Heterojen	24,6	33,4	8,8	%26,34
Test 7	2	Homojen	27,2	33,4	6,2	%18,56
Test 8	2	Heterojen	26,9	33,4	6,5	%19,46

Test	Araç sayısı	Filo durumu	Tavlama benzetimi (km)	Fırının mesafesi (km)	Fark (km)	Kazanç %
Test 1	3	Homojen	32,2	37,4	5,2	%13,90
Test 2	3	Homojen	30,9	37,4	6,5	%17,37
Test 3	3	Heterojen	32,4	37,4	4	%10,69
Test 4	3	Heterojen	30,9	37,4	6,5	%17,37
Test 5	3	Homojen	30,9	37,4	6,5	%17,37
Test 6	3	Heterojen	30,9	37,4	6,5	%17,37
Test 7	3	Homojen	30,9	37,4	6,5	%17,37

Tablo 9’da tavlama benzetimi algoritmasının optimale yakın sonuçları ile fırının izlediği toplam rota mesafelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Tablo 9’a göre iki araç ile yapılan dağıtım sırasında TB ile oluşturulan rotaların maximum kazancı %26,34’tür. Üç araç ile yapılan dağıtım sırasında TB ile oluşturulan rotaların maximum kazancı %17,37 olmuştur. Tablo 9’da TB algoritması, karşılaştırılan toplam 15 testte fırının toplam rota mesafelerine göre çok daha iyi sonuçlar vermiştir.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Van’da bir ekmek fabrikasının sabah servisinde yirmi markete ekmek dağıtım sırasında izlediği rotalara alternatif rotalar önerilmiştir. Ekmek fabrikasından alınan koordinatlar, talepler reel veriler olması açısından önemlidir. Fırın araç filosu homojendir. Yapılan testlerde araç filoları hem homojen hem de heterojen olarak alınmıştır. Matematiksel model hem homojen hem de heterojen filolu kapasiteli araçların toplam kat ettikleri mesafeleri minimize yapma amaçlıdır. Tavlama benzetimi algoritması ile önerilen problem için optimale yakın sonuçlar elde edilmiştir. Oluşturulan problemde araç filoları homojen veya heterojen olması durumunda toplam rota mesafelerinde önemli bir etki yapmamıştır. Her rotadaki toplam müşteri talepleri araç kapasitesine göre oluşturulduğundan filo farklılığı büyük bir etki yapmamıştır. TB ile elde edilen optimale yakın sonuçlar her durumda fırının kendi toplam rota mesafelerinden çok daha iyi sonuçlar vermiştir. TB algoritmasını kullanarak, iki araç ile yapılan dağıtım sırasında oluşan rotaların fırın ile en büyük farkı 8,8 km ve maximum kazancı %26,34’tür. İki araç ile yapılan dağıtım sırasında en küçük farkı 6,2 km ve minimum kazancı %18,56’dır. Üç araç ile yapılan dağıtım sırasında oluşan rotaların fırın ile en büyük farkı 6,5 km ve maximum kazancı %17,37 olmuştur. Üç araç ile oluşan rotaların fırın ile en küçük farkı 4 km ve minimum kazancı %10,69 olmuştur. Tablo 9’da tüm testler için farklar ve yüzde olarak kazançlar gösterilmektedir.

Homojen veya heterojen filolu bir araç rotalama probleminde taşıma maliyetleride modele katılırsa elbette önemli değişiklikler yapacaktır. Farklı çalışmalarda bilim insanları bu durumu mutlaka inceleyeceklerdir.

KAYNAKLAR

- [1] Ruiz, R., Maroto, C., & Alcaraz, J. (2004). A Decision Support System for a Real Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 153, 593-606.
- [2] Shen, Z., Ordóñez, F., & Dessouky, M. M. (2009). The Stochastic Vehicle Routing Problem for Minimum Unmet Demand. In *Optimization and Logistics Challenges in the Enterprise*, Springer, Boston, MA, 349-371.
- [3] Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1979). *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. WH Freeman & Co. New York, NY, USA.

- [4] Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.
- [5] Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12(4), 568-581.
- [6] Bramel, J., & Simchi-Levi, D. (1999). *The Logics of Logistics, Theory, Algorithms, and Applications for Logistics Management, second ed.* In: Springer Series in Operations Research. Springer-Verlag, New York.
- [7] Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- [8] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220 (4598), 671-680.
- [9] Cerny, V. (1985). Thermodynamical Approach to The Traveling Salesman Problem: An Efficient Simulation Algorithm. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 45 (1), 41-51.
- [10] Osman, I. H. (1993). Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms for The Vehicle Routing Problem. *Annals of Operations Research*, 41, 421-451.
- [11] Breedam, A. V. (1995). Improvement Heuristics for The Vehicle Routing Problem Based on Simulated Annealing. *European Journal of Operations Research*, 86(3), 480-490.
- [12] Chiang, W. C., & Russell, R. A. (1996). Simulated Annealing Metaheuristics for The Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Annals of Operations Research*, 63(1), 3-27.
- [13] Rabbouch, B., Saadaoui, F., & Mraïhi, R. (2020). Empirical-Type Simulated Annealing For Solving The Capacitated Vehicle Routing Problem, *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 32 (3), 437-452.
- [14] İlhan, İ. A. (2020). Population Based Simulated Annealing Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problem. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 28, 1217 - 1235.
- [15] Wei, L., Zhang, Z., Zhang, D., & Leung, S. C. H. (2018). A Simulated Annealing Algorithm for The Capacitated Vehicle Routing Problem with Two-Dimensional Loading Constraints. *European Journal of Operational Research*, 265, 843-859.
- [16] Tavakkoli-Moghaddam, R., Safaei, N., & Gholipour, Y. (2006). A Hybrid Simulated Annealing for Capacitated Vehicle Routing Problems With The Independent Route Length. *Applied Mathematics and Computation*, 176(2), 445-454.
- [17] Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I., & Xu, Y. (2012). Development of a Fuel Consumption Optimization Model for The Capacitated Vehicle Routing Problem, *Computers & Operations Research*, 39(7), 1419-1431.
- [18] Yalçın, A. Y. (2021). Tavlama Benzetimi Temelli Yaklaşım ile Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Optimizasyonu: Karadeniz Bölgesi Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 22, 239-248.
- [19] Ulutaş, A., Bayrakçıl, A. O., & Kutlu, B. (2017). Araç Rotalama Probleminin Tasarruf Algoritması ile Çözümü: Sivas'ta Bir Ekmek Fırını İçin Uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 18(1), 185-197.
- [20] Okur, E., & Atlas, Ü. M. (2020). Araç Rotalama Probleminin Genetik Algoritma ile Çözümü. *Anadolu University Journal of Social Sciences*, 20(3), 227-254.
- [21] Taillard, É. D. 1999. A heuristic column generation method for the heterogeneous fleet VRP. *RAIRO-Operations Research*, 33(1), 1-14.
- [22] Yousefikhoshbakht, M., Didehvar, F., & Rahmati, F. (2014). Solving the heterogeneous fixed fleet open vehicle routing problem by a combined metaheuristic algorithm. *International Journal of Production Research*, 52(9), 2565-2575.
- [23] Çetin, S., & Gencer, C. (2011). Heterojen araç filolu zaman pencereli eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri: matematiksel model. *International Journal of Engineering Research and Development*, 3(1), 19-27.

- [24] Ağayeva Ç., & Takan M. A. (2020). Stokastik Talepli Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemine Yönelik Karşılaştırmalı Bir Yaklaşım. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 971-979.
- [25] Cömert, S. E., Yazgan, H. R., & Kılıç, E. N. (2020). Araç Rotalama Probleminin Sezgisel Algoritmalar ile Çözülmesi: Bir Boya Fabrikasında Uygulama. *Journal of Turkish Operations Management*, 4 (2), 549-563.
- [26] Ekizler, H. (2011). *Araç Rotalama Probleminin Çözümünde Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritmasının Kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., & Teller, E. (1953). Equation of State Calculations by Fast Computing Machines. *The Journal Of Chemical Physics*, 21(6), 1087-1092.
- [28] Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2005). Metaheuristics in Combinatorial Optimization. *Annals of Operations Research*, 140(1), 189-213.
- [29] Kızıloğlu, K. (2017). *Stokastik Talepli Çok Depolu Araç Rotalama Problemi için Sezgisel Bir Çözüm Yaklaşımı*. Yüksek Lisan Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [30] Güden, H., Vakvak, B., Özkan, B. E., Altıparmak, F., & Dengiz, B. (2005). Genel Amaçlı Arama Algoritmaları ile Benzetim Eniyilemesi: En İyi Kanban Sayısının Bulunması. *Endüstri Mühendisliği*, 16(1), 2-15.
- [31] Güner, E., & Altıparmak, F. (2003). İki Ölçütlü Tek Makineli Çizelgeleme Problemi için Sezgisel Bir Yaklaşım, *Gazi Üni. Müh-Mim. Fak. Dergisi*, 18(3), 27-42.
- [32] Aydoğdu, B. (2017). *Dinamik Eş Zamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi İçin Matematiksel Model ve Sezgisel Yaklaşımlar*, Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Araştırma Makalesi - Research Article

A Text Mining Analysis on Misinformation Regarding the COVID-19 Pandemic

COVID-19 Pandemisi ile İlgili Yanlış Bilgiler Üzerine Bir Metin Madenciliği Analizi

Fırat İsmailoğlu^{1*}

Geliş / Received: 30/06/2021

Revize / Revised: 19/01/2022

Kabul / Accepted: 21/01/2022

ABSTRACT

Since the outset of COVID-19 pandemic, a massive amount of information has been generated about the pandemic, where a great deal of it contains less verifiable information disseminated especially via social media. A video propagating various conspiracy theories about the pandemic, called plandemic, was launched, and people started to share posts addressing this issue with this hashtag thereafter. For this research, we collected thousands of tweets using this hashtag, and then combined this collection with a collection of tweets with a similar hashtag #scamdemic to build a study group. Also, we collected tweets that convey more general thoughts about the pandemic, which served as a control group. We showed that the web sources provided in the tweets in the study group tend to be much less credible. Furthermore, we performed two sentiment analysis using Hedonometer and VADER. Hedonometer showed that the average happiness level in tweets spreading misinformation about COVID -19 is almost the same as in regular COVID -19 tweets. However, VADER showed that the tweets spreading the misinformation have significantly more negative sentiment. This could be related to the fact that the VADER also takes into account non-lexical items, such as emoticons and capital letters.

Keywords- Text Mining, Sentiment Analysis, SARS-CoV-2, COVID-19 Pandemic, Twitter Analysis

ÖZ

COVID-19 pandemisinin başından beri pandemi ile ilgili çok büyük miktarda veri üretilmiştir ve bunun önemli bir kısmı genellikle sosyal medya tarafından yayılmış doğrulanmamış veridir. Pandemi ile ilgili birçok komplo teorisinin propagandasını yapan "plandemic" adlı bir video yayımlanması ardından, insanlar pandemi ile ilgili yanlış bilgileri bu etikete sahip tweetler atarak paylaşmıştır. Bu çalışmada, bu etiket ve buna benzer bir etiket olan "scamdemic" yardımıyla binlerce tweet toplanarak bir çalışma grubu oluşturulmuştur. Ayrıca pandemi ile ilgili daha genel bilgiler içeren tweetler toplanarak bir kontrol grubu oluşturulmuştur. Çalışma grubundaki tweetlerde verilen internet kaynaklarının çok daha az güvenilir olduğu gösterilmiştir. İlâveten, Hedonometer ve VADER kullanılarak iki duygu analizi gerçekleştirilmiştir. Hedonometer göstermiştir ki, sahte haber yayan tweetler önemli derecede daha fazla negatif duyguya sahiptir. Bu, VADER'in emoji ya da büyük harfler gibi sözcüksel olmayan yapıları da dikkate alması gerçeği ile ilişkilendirilebilir.

Anahtar Kelimeler- Metin Madenciliği, Duygu Analizi, SARS-CoV-2, COVID-19 Pandemisi, Twitter Analizi

^{1*}Corresponding author contact: fismailoglu@cumhuriyet.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-6680-7291>)
Computer Engineering Department, Sivas Cumhuriyet University, 58140, Sivas, Turkey

I. INTRODUCTION

Since the early 2020, the new type of coronavirus SARS-CoV-2, hereafter referred to as COVID -19, has infected millions of people around the world, and more than half a million people have died from COVID -19 [1]. Billions of people around the world have been locked down, and most countries took strict measures to prevent the spread of the virus and to flatten the curve. As of March 2020, the whole world has come to know a new kind of eccentric lifestyle which is mainly based on physical distance, wearing masks and taking strict hygiene measures. These precautions have led people to communicate with each other in unconventional ways. Chat applications, such as WhatsApp and Telegram became an integral part of our daily routine, and social media platforms such as Twitter, Facebook, and YouTube played a more important role than ever in communicating ideas/opinions and even sourcing news during the COVID -19 outbreak [2].

COVID-19 pandemic is one of the most significant problems facing humanity in the new millennium. It is therefore inevitable that such a major problem cannot be considered without its conspiracy theories and myths, which influence public opinion about the virus and thus seriously endanger public health [3]. In this study, we are concerned with misinformation about COVID -19. However, before we get to the details of our research, we provide an illustration below that explains what is meant by the term conspiracy theory.



Figure 1. The seven traits of conspiratorial thinking [4].

The study in [3] summarizes the conspiracy theories regarding COVID -19 performing a Twitter analysis. The authors grouped the tweets containing conspiracy theories about COVID -19 into five main themes: Flu, heat, home remedies, the origin of the virus, and vaccine development. Among them, the most common is the one about the origin of the infection, followed by tweets comparing COVID -19 to the regular flu. To debunk and combat the myths surrounding COVID -19 , the World Health Organization (WHO) recently launched a website called Mythbusters where the myths and urban legends based on the latest clinical research (<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters>). In fact, the WHO regularly updates the webpage as new myths and lies emerge.

As an aside, there is a subtle difference between misinformation and disinformation. While both refer to false/inaccurate content, in the case of disinformation, there is an explicit intent to spread the misleading content; thus, it is deceptive. In the case of misinformation, the intent is absent, so it is unintentional. Throughout the paper, we will speak of misinformation when referring to the misleading information.

As mentioned earlier, during the pandemic COVID -19 news and opinions usually spread through social media due to social distancing and lockdown. This is also true for misinformation. For example, a tweet claiming that wearing a face mask could cause lung cancer can receive thousands of retweets within minutes (<https://www.bbc.com/news/technology-52903680>). Worse, scientific misinformation has also been spread via social media. Especially at the onset of the COVID -19 pandemic, the medical community spread inaccurate and even contradictory information about COVID -19 [5]. For example, on January 14, 2020, a fantastic tweet was posted by the WHO shown in Figure 2. Therefore, avoiding misinformation on the internet is as important as providing the needed medical equipment [6].



World Health Organization (WHO) ✓
@WHO

Preliminary investigations conducted by the Chinese authorities have found no clear evidence of human-to-human transmission of the novel #coronavirus (2019-nCoV) identified in #Wuhan, #China 🇨🇳.

Figure 2. A misleading tweet posted on January 14, 2020 by the WHO.

In this paper, we are concerned with identifying general patterns of misinformation in the tweets about the COVID -19. Ultimately, we want to help raise public awareness of misleading information about the virus spreading in social media. To this end, we conducted a comparative study to understand how different tweets containing misinformation about COVID -19 are. The primary challenge was to collect a large number of tweets that are certain to contain misinformation about the virus. This is because misinformation about COVID -19 comes in many different forms, as it is mainly created by regular users rather than bots. Therefore, it is challenging not only for machines but also for humans to recognize them [7]. Nevertheless, we used two hashtags in this study: #plandemic and #scamdemic to label a tweet as including misinformation about the pandemic. In the sequel, we explain what these hashtags promote and how they came about.

Plandemic is a conspiracy theory video of length 26 minutes posted by Judy A. Mikovits, a former virology researcher, on various social media platforms on May 4, 2020. The video contains a plethora of conspiracy theories about COVID -19, from the dangers of wearing face masks to the use of hydroxychloroquine to treat the virus. Its main claim; however, is that a vaccine against COVID -19 will commit genocide against the world's elderly. Within a couple of days, the video went viral, reaching over 8 million views. This was echoed on social media as well. Thousands of tweets propagating various conspiracy theories about COVID -19 were posted with the hashtag #plandemic [8].

Like #plandemic, the hashtag #scamdemic has also been widely used to disseminate conspiracy theories about COVID -19 via Twitter. Although it is known that scamdemic is a combination of scam and pandemic, it remains mysterious how it came to be. Nevertheless, it has been used continuously since its first use in late March 2020. In Figure 3, you can see the number of tweets posted daily. Finally, we note that one might expect to see a similar hashtag #infodemic in this study, which is generally used for the same purposes. However, we intentionally omitted #infodemic because we found that a good rate of tweets with this hashtag contains more credible information compared to the other two hashtags, as this term was coined by the WHO.

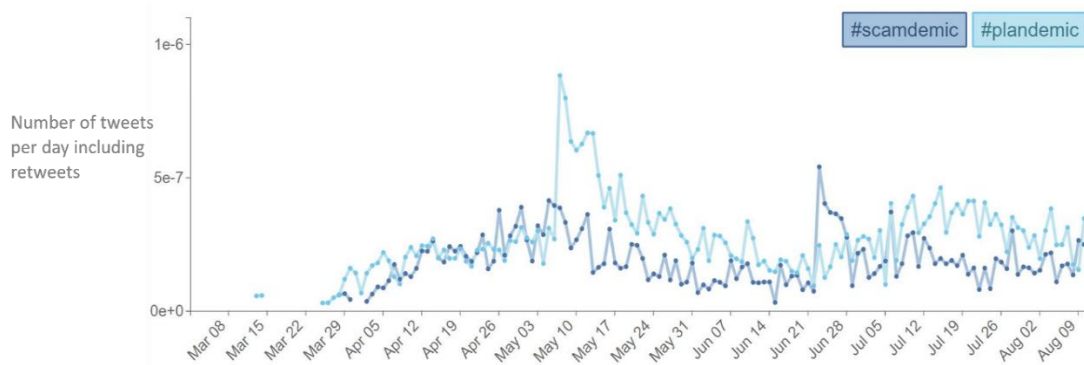


Figure 3. Number of tweets with hashtags #scamdemic and #plandemic posted daily (including retweets)

We collected tweets with the hashtags #plandemic and #scamdemic to create a dataset of tweets containing misinformation about COVID -19. We also created another large dataset where we randomly selected tweets with the hashtag # COVID -19 to allow a comparison between these two types of tweets. With these two datasets, we aimed to answer the following two research questions:

- Is an external source given in a tweet containing misinformation about the COVID-19 pandemic is less credible than the one given in a more regular COVID-19 tweet?
- Is there a sentimental difference that can be discerned between the two types of tweets on COVID -19?

We conducted two analyses, one for each question. First, to test the credibility of the external sources provided in the tweets, we made use of the URL addresses (including tiny URLs) provided in the tweets. Assuming that a web source is reliable if the corresponding web address has the domain suffix "gov" or "org", we classified the sources as secure or not. Second, we performed two sentiment analysis: Hedonometer and VADER. More specifically, we calculated the average happiness scores of tweets in both datasets using Hedonometer. We also calculated the average negativity, average positivity, and average neutrality of the tweets using the VADER sentiment analysis, which takes into account not only words but also other types of lexicons, such as punctuation and emoticon [19].

Text mining techniques have long been used to extract meaningful and interesting information from unstructured text on social media [9-13]. From investigating consumer attitudes to detecting pandemic outbreaks, the use of text mining in social media is widespread. For these uses, sentiment analysis, a text mining field for detecting opinions in unstructured texts, plays an important role [11]. A recent sentiment analysis of Twitter data aimed to gauge public opinion on mask wearing, social distancing, and the impact of the pandemic on public mental health [12]. As far as the method of sentiment analysis of unstructured text is concerned, the lexicon-based methods, which leverage pre-established lexicons of words, are the state of the art [9,10]. Also, supervised methods using word N-grams, Part-of-Speech, or other features extracted from tweets are used. For example, the study in [13], a convolutional algorithm is used to train a deep neural network extracting the features from Twitter texts using word N-grams. The study showed remarkable performance in classifying tweets according to their sentiment. However, this study can be criticized because, like other supervised methods, it requires a large amount of labeled training data.

The paper is organized as follows. In the subsequent section, we provide an overview of prominent studies analyzing tweets containing misinformation about the pandemic. We then provide insight into our dataset using tf-idf scores and clouds of the most frequent words in them. We continue the paper by presenting our findings based on URL analysis and sentiment analysis. Finally, we summarize the present paper summarizing the results of our study and suggest an important future research direction.

II. LITERATURE REVIEW

On February 15, 2020, at the Munich Security Conference, Dr. Tedros Adhanom Ghebreyesus, Director General of the World Health Organization, expresses his concerns regarding the COVID -19 related fake news as:

... But we're not just fighting an epidemic; we're fighting an infodemic. Fake news spreads faster and more easily than this virus, and is just as dangerous. That's why we're also working with search and media companies like Facebook, Google, Pinterest, Tencent, Twitter, TikTok, YouTube and others to counter the spread of rumours and misinformation. (World Health Organization, 2020)

As mentioned in the introduction and motivated by the quote above, social media has been polluted by a wealth of misinformation about COVID -19. This is likely to lead people taking irrational actions that may ultimately lead to public health problems. Such misinformation can be found on almost all social media though; it is mainly centered on Twitter, as being one of the most widely used platforms for disseminating news [14]. As a result, the analysis of misinformation about COVID -19 in tweets has recently received increasing attention, leading to several studies with impressive results. In the following, we present an overview of these studies.

Singh et. al identified common myths about COVID -19 by analyzing tweets from mid-January to mid-March 2020 [3]. The authors grouped tweets about COVID -19 misinformation into five main themes: Flu, Heat, Home Remedies, Origin of the Virus, and Vaccine Development. Among them, the most common mention is the origin of the virus, followed by tweets comparing COVID -19 to the regular flu. Regarding the type of misinformation/myths in COVID -19 tweets, Sharma et. al categorized the tweets with malicious information into four types: unreliable, conspiracy, clickbait, and political, using a dataset of tweets collected between March 1 and March 30, 2020 [15]. The authors made this categorization based on the reliability of the external links provided in the tweets, where the reliability is assessed by some fact-checking websites. Allowing a single tweet can belong to more than one category, they found that the misinformation is mainly spread through unreliable sources that contain false and misleading news.

Kouzy et. al aimed to identify Twitter accounts that spread misinformation and/or unverifiable information pertaining to COVID-19 [16]. To this end, the authors collected 260 tweets posted on February 27, 2020 ensuring the incorrect content they have. They found that the vast majority of tweets on COVID-19 misinformation are generated by informal personal/group accounts other than journalists, public health accounts, and business/government accounts. In fact, these individual accounts are mostly unverified Twitter accounts with a relatively fewer number of followers. These findings are in line with those reported in [7], where it is stated that accounts followed by a large number of users, such as celebrities and other prominent public figures, produce only a tiny amount of misleading information on COVID-19 spreading in the social media. Furthermore, the same study concluded that AI-based tools have no contribution to propagating misinformation about COVID-19; thus the malicious tweets are authored by humans, which in turn makes them hard to distinguish as being not fabricated.

When it comes to understanding people's motivation to share misinformation about the virus, the study in [17] presents some remarkable results from an online survey that recruited over 1700 adults who are active Twitter or Facebook users in the US. During the survey, participants were shown 15 true and 15 false news stories about COVID -19 in random order. They were first asked their opinion on whether the news they were shown was true or not (to the best of their knowledge), and then whether they would share that news on their social media. The results showed that people with lower intellectual abilities, who usually rely on their intuition, are unable to distinguish between true and false content and are therefore more likely to spread fake information. They even get distracted by social media itself and share fake news simply because they are inattentive and not because of their partisan/fanatical thoughts.

In terms of location identification, the United States, Canada, and the United Kingdom were found to be the three countries hosting the most users posting tweets with fake information on COVID -19, considering all English-speaking countries [18]. This can be attributed to the large population size of these three countries. However, considering the number of users normalized by dividing the total number of users in each country, we find that this type of tweets originates from the United States, Canada and the United Kingdom. Another interesting finding reported in [18] is that tweets with less credible information about COVID -19 tend to stay in the country where they were created, which also means that each country creates its own fake news about COVID -19.

With regard to the use of text mining techniques for COVID -19 related tweets, there are a number of high quality studies in the literature. Of these, an interesting study analyzed around 4 thousand tweets using the search terms "loneliness" and "COVID-19" to see how loneliness is discussed in social media during the pandemic [19]. For this study, an unsupervised text mining technique Topic Modeling [10] was used to identify key topics in the tweets. As a result, 33 topics were identified, which were then they were clustered into three key clusters using Hierarchical Clustering. The themes in the first cluster describe the impact of loneliness on the community during the pandemic, such as death, work, home, and hope. The themes in the second cluster, on the other hand, describe the effects of social distancing on loneliness, such as isolation, lockdown, love, and friend. Finally, the third cluster includes themes that affect people's mental health, such as depression, anxiety, fear, and crisis.

An interesting study presented in [12] conducted a sentiment analysis for Twitter data and found that people are generally positive about wearing masks, but when it comes to lockdown and vaccine, public opinion is much more negative. Different from COVID -19, a remarkable text mining study in [20] considered tweets about the terrorist group ISIS, to compare the views of the West and the East on ISIS. The study showed that people use the same words when describing the terror group and are all against ISIS regardless of where they live and wish for a more peaceful life. For a detailed review on using text mining for social media, please refer to [21].

Finally, not all studies are concerned with identifying a general pattern about COVID -19 misinformation in social media; some of them focus only on one aspect of it. For instance, [16] looks at Twitter conversations with the hashtag #FilmYourHospital. The misinformation associated with this hashtag is that COVID -19 is just a hoax and hospitals are empty. It also asks people to film their local hospitals to provide evidence for this claim. The study in [22] clarifies that this misinformation is being spread by conservative politicians and political activists. This finding contradicts previous findings that the main source of misinformation on COVID -19 is regular users. Ahmed et. al analyze another misinformation circulating on Twitter, which attributes the spread of COVID -19 to the proliferation of 5G networks. The analysis revealed that a large proportion of users spreading the mentioned conspiracy theory are regular users. Finally, the research in [24] analyzed tweets containing misinformation about the possible role of spinal manipulative therapy (SMT) and COVID -19. Specifically, these tweets claim that SMT boosts immunity and therefore may be effective in combating COVID -19. The study concluded that tweets attempting to refute this misinformation are three times more common than those that do spread it.

III. MATERIALS AND METHODS

A. Data Collection

We created two datasets, one for the study group and one for the control group. In creating the study group, we used the two hashtags #plandemic and #scamdemic as key indicators of the spread of misinformation about the COVID -19 epidemic. Admittedly, one could use other hashtags for the same purpose and thus enrich one's study group. This poses a limitation to our study. On the other hand, we used the hashtag #Covid19 when forming the control group. Again, there are many hashtags available to address the pandemic in general, such as #coronavirus, #2019nCoV, #wuhavirus, or #CoronavirusOutbreak. We disregarded all these hashtags to make the study group and the control group comparable in terms of size. Also, we ensured that a tweet in the control group did not contain #plandemic or #scamdemic to ensure diversity. Nevertheless, we cannot guarantee the purity of the control group in that there is no tweet in the group that spreads misinformation about the pandemic, as there is no de facto standard in the literature to detect misinformation.

For both datasets, we collected tweets using Twitter Streaming API from June 13, 2020 to July 4, 2020 (for three weeks). We excluded tweets that only contain hashtags or have less than three retweets. This left us with over 45 thousand tweets for the study group, and over 110 thousands of tweets for the control group. See Table 1 for the distribution of the tweets over the hashtags of interest.

Table 1. Number of tweets in the study and in the control group by hashtag.

	Study		Control
# scamdemic	18,992	# Covid19	113,733
# plandemic	26,074		
Total	47,242		113,733

B. Getting to Know the Datasets

To gain some insight into the datasets, below we provide a table of the words that occur most frequently, given their tf-idf values. We note again that the study group consists of tweets with the hashtag #plandemic or #scamdemic. In addition, we unified the words representing the coronavirus, such as Covid, the virus, Covid19, #2019nCoV, Covid20, etc., as "Covid19".

In creating the table below, we considered each tweet as a single sentence and the collection of tweets, i.e., the dataset (study or control) as a whole text. Thus, a tf-idf score for a word k is calculated as:

$$\frac{\# \text{ times } k \text{ appears in all tweets}}{\text{total } \# \text{ words in all tweets}} \times \log \left(\frac{\# \text{ tweets}}{\# \text{ tweets containing } k} \right) \quad (1)$$

Here # stands for the phrase "number of". Using the formulation above, we calculated the tf-idf scores of the unique words in both datasets. Table 2 shows the words with the highest tf-idf scores.

To visually represent both datasets, we also provide a word cloud for the study and for the control group, as shown in Figure 4. We note that in doing so, we excluded the hashtags: COVID19, plandemic, and scamdemic, so that they do not dominate the word clouds.

IV. RESULTS AND DISCUSSIONS

A. URL Addresses Analysis

Many Twitter users attach an URL addresses (web addresses) to their tweets to substantiate their claims. Accordingly, in our case, about a quarter of the tweets contain URL addresses, considering all tweets from the study group and the control group.

We used the percentage of URL addresses in the tweets with the domain suffix *gov* or *org* to estimate the reliability of the external sources cited in the tweets. We assumed that a web address with the suffix "gov" or "org" could be considered a reliable source, with one minor exception. That is, a nonprofit fact-checking organization

called NewsGuard recently published a red list of websites that spread misinformation about the coronavirus (<https://www.newsguardtech.com/coronavirus-misinformation-tracking-center/>). the list includes 447 websites, nine of which have the domain suffix "gov" or "org" and whose content is in English. These are the followings: ChildrensHealthDefense.org, GNews.org, OrganicConsumers.org, The Healthy American. org, The Vaccine Reaction.org, WestonAPrice.org, VaccineHolocaust.org, Off-Guardian.org and UKColumn.org.

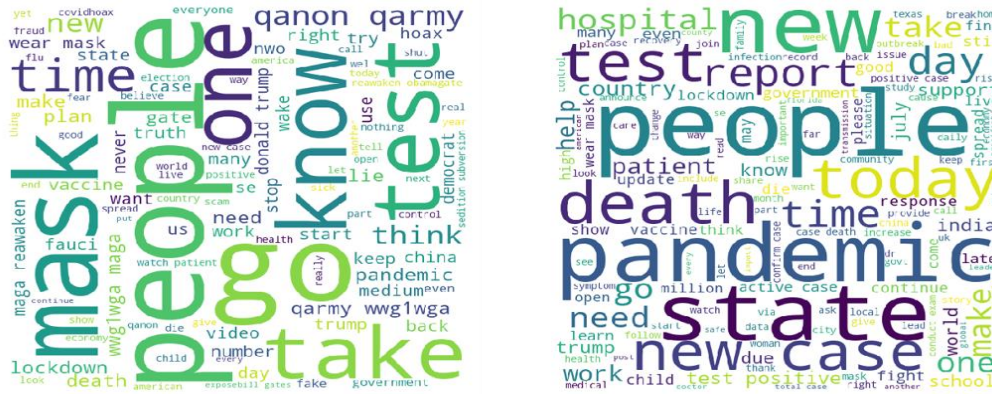


Figure 4. Word clouds for the study group (left) and for the control group (right).

Table 2. The most prevalent words based on the tf-idf scores in both datasets

	Study	Control
1	COVID19 (0.503)	Death (.0226)
2	Mask (.0292)	Pandemic (.0182)
3	QAnon (.02)	Health (.018)
4	Qarmy (.02)	State (.0171)
5	U.S. (.0194)	Vaccine (.0145)
6	Wwg1wga (.0187)	Patient (.0145)
7	Hoax (.0174)	Lockdown (.0138)
8	China (.0164)	Infection (.0133)
9	Lockdown (.0159)	Positive (.0122)
10	Medium (.0143)	Fight (.0121)

We considered the above websites as unreliable sources and therefore omitted them from our analysis. Moreover, for the tweets containing tiny URL addresses such as bit.ly or ow.ly, we used a Python package urllib to retrieve the full name of the web addresses. Using regular expressions, we extracted the full URL addresses in the tweets. Finally, we also disregarded the URL addresses that stem from retweets (i.e., those from the twitter.com domain).

Table 3. The percentages of the credible URLs in the datasets.

	Study	Control
# Tweets containing URLs	6,437	31,465
# Tweets containing URLs with org/gov suffices	410 (6.36%)	4,455 (14.15%)

Table 3 suggests that only about 6% of the URL addresses given in the tweets with misinformation about the pandemic COVID -19 refer to reliable sources. In contrast, this percentage is about 14% (more than double) for the control group. To determine whether the observed difference is significant, we performed a chi-square test in which the null hypothesis states that there is no relationship between the type of tweet (either misleading or neutral) and the type of web source it contains (either credible or less credible). We found that the test statistic χ^2 is equal to 289.08 with $df=1$, and the corresponding p -value is much smaller than .001. Therefore, we reject the null hypothesis and conclude that there appears to be an association between the type of information in a tweet posted about the pandemic COVID-19 and the credibility of the web source therein.

B. Sentiment Analysis

We wanted to find out if there is a difference between tweets containing misinformation about the COVID -19 pandemic and the other tweets about the pandemic in terms of sentiment. To this end, we conducted two analyses. The first focuses on calculating the average happiness score of the words in the tweets we are interested in. The second analysis, on the other hand, is the state-of-the-art sentiment analysis developed exclusively for social media, known as VADER (Valence Aware Dictionary and sEntiment Reasoner) [9].

1) *Happiness Analysis*: Hedonometer is a tool designed to measure happiness expressed in texts (<http://hedonometer.org>) [25]. More specifically, Hedonometer assigns a happiness score to over 10,000 unique words, with scores ranging from 1 (least happy) to 9 (most happy), indicating how much happiness is in a word. These scores are based on the average of fifty crowd workers' ratings on Amazon's Mechanical Turk service. The crowd workers rated the words independently in two ways: 1) independently of each other 2) independently of any context. Hedonometer is thus a context-free measure of happiness, which in turn allows Hedonometer to be used in a variety of applications. We also note that when selecting words to be considered for Hedonometer, the developers examined a very large corpus of texts from various domains, such as tweets, Google Books, Wikipedia and so on. For a more detailed explanation of Hedonometer, please refer to [25].

Hedonometer has long been successfully used for sentiment analysis of tweets from various domains. Cody et. al. used Hedonometer on tweets about climate change collected between September 2008 and July 2014 [26]. They found that the average happiness of tweets that contained the phrase "climate change" was generally lower than the happiness of the control group over the 6-year period. Another prominent study published in the journal Nature revealed that travelers generally prefer positive food-related words to negative words, thus happiness increases with distance from the location, relying on the average happiness scores of geolocated tweets estimated using Hedonometer [27]. A recent study using Hedonometer on a large corpus of tweets found that sentiment in tweets increases sharply during a visit to a park, while it decreases substantially when users enter an indoor environment [28].

We calculated the average happiness score of the tweets in the study and the control group. To calculate the average happiness score of a tweet, we took the words in the Hedonometer, summed their happiness scores, and then divided by the total number of words in that tweet. Finally, we averaged all the scores assigned to the tweets for both groups. As shown in Table 4, the mean happiness score for the group of misleading tweets is 5.36 with a standard deviation of 0.55; for the group of tweets generally posted on COVID -19, it is 5.52 with a standard deviation of 0.48. We also performed the t-test to see if the observed difference between the mean happiness scores is significant. However, it resulted in a high p -value ($p > .05$).

Table 4. Mean happiness scores of the tweets in the study group and in the control group.

	Study	Control
Mean Happiness Score	5.36 ($\sigma = 0.55$)	5.52 ($\sigma = 0.48$)

Since the average happiness score is quite similar in the study group and the control group, we claim that people tend to use neutral words when spreading misinformation about the pandemic COVID -19 via social media. It is uncommon to encounter offensive words or words that can be perceived as negative when spreading misleading texts about the pandemic. This complicates the problem of detecting misinformation about the pandemic on social media.

2) *VADER (Valence Aware Dictionary and sEntiment Reasoner) Analysis*: when calculating the average happiness scores of the tweets, we standardized the texts. That is, we removed all punctuation (including emojis), acronyms, and letter repetitions (for example, happyyy became happy), and converted all uppercase letters to lowercase. However, it is obvious that punctuation marks, emojis, and repeated letters may also convey special meanings that can be leveraged to capture the true sentiment of a sentence.

The sentiment analyzer VADER is a rule-based sentiment analysis tool which is used evaluate the sentiment in social media [9]. In doing so, VADER takes into account different types of lexicons (punctuation, emoticons, etc.), unlike Hedonometer analysis. Also, VADER outputs not only positivity score, but also scores for negativity and neutrality. Moreover, VADER outputs a compound score that is obtained by normalizing the sum of the valence scores of the individual words in the lexicon and can be used alone to quantify the overall sentiment in the text. To illustrate what VADER outputs, we provide Table 5 that shows three examples with different sentiments along with scores for positivity, negativity, neutrality and composite.

Table 5. VADER outputs for three examples.

Sentence	Negativity	Neutrality	Positivity	Compound
I will fail my exam tomorrow.	0.467	0.533	0	-0.542
Oh, what a nice weather!	0	0.436	0.564	0.475
First, read the instructions.	0	1	0	0

The first sentence above has a negative sentiment, since the speaker of the sentence is afraid of failing his exam; therefore, VADER assigns a high negativity score for that sentence. For the second sentence, on the other hand, VADER generates the highest sentiment score for positivity, as the speaker expresses his positive thoughts about the weather intensely. Finally, the third sentence does not contain any thoughts of the speaker, it just tells him what to do, which in turn causes VADER to output the highest score for neutrality.

VADER maps lexical features such as words, punctuation and capitalizations, to sentiment scores. When determining which feature to assign to which score, VADER relies on a dictionary created by Amazon Mechanical Turk crowd worker ratings, as in the case of Hedonometer. More specifically, for each feature crowd workers give a rating between -4 and 4 for positive, negative, and neutral sentiments. VADER then averages the ratings so that each rating is in between -1 and representing strong disagree and strong agree, respectively. We also note that VADER pays special attention to the word “but” for the following reason. The word “but” connects two sentences with opposite sentiments, where the latter has usually more dominant sentiment. Therefore, once VADER detects the “but”, it decreases the sentiment scores of the words before the “but” to 50% of their values, whereas increases those after the “but” to 150% of their values.

To date, VADER has found several notable applications in social media analysis, particularly Twitter analysis. Pano and Kashaf analyzed over 4 million tweets with Bitcoin prices and concluded that VADER scores correlate with Bitcoin prices, so VADER scores can be used to forecast these prices [29]. A more comprehensive study using VADER for Twitter analysis was conducted by Bhaumik and Yadav considering tweets from different groups of people, such as graduate students, doctors, comedians, etc. This study showed that graduate students’ tweets contain the most negative sentiments, whereas tweets posted by comedians have the highest level of positivity. Interestingly, politicians tend to post neutral tweets [30]. In [31], VADER was utilized for understanding

US mental health during the COVID -19 pandemic. Concretely, a public dataset that consists of all COVID -19 related tweets was analyzed, and found that a large portion of these tweets conveyed positive feelings, which may be used to support the claim that people in the US are optimistic about the pandemic [31]. Finally, a recent study in [32] analyzed 427 tweets with misleading content from and performed the VADER sentiment analysis. The results suggest that tweets propagating fake news have a more negative tone and stronger sentiment polarities than tweets with verifiable news.

Table 6. Mean sentiment scores computed by the VADER for study group and for the control group.

	Study	Control
Negativity	0.12 ($\sigma = 0.11$)	0.06($\sigma = 0.08$)
Neutrality	0.81 ($\sigma = 0.13$)	0.85 ($\sigma = 0.11$)
Positivity	0.06 ($\sigma = 0.09$)	0.07($\sigma = 0.08$)
Compound	-0.09 ($\sigma = 0.28$)	0.02 ($\sigma = 0.26$)

Table 6 shows the four sentiment scores for the study group and for the control group. At first glance, it may seem that the tweets of the study group convey more negative thoughts than those of the control group, given the corresponding negativity scores. In practice, this could mean that a tweet containing misinformation about the pandemic COVID -19 tends to be more negative. Indeed, in [9] it is suggested that a compound score of less than -0.05 indicates negative sentiment. In our case, since it is less than -0.05 for the study group, this supports the claim that a tweet spreading misleading information about the pandemic sounds negative. At this point, one may think that this result is in contrast to the earlier result that there is no actual difference between the words in malicious tweets and regular tweets about the COVID -19 in terms of happiness score. Roughly speaking, negative sentiment is usually conveyed by capital letters and emoticons in tweets that propagate misleading information, so a sentiment analysis that only reflects the content of words could be effective in this sense.

We also performed the t-test for all sentiment categories and found that the observed difference between the mean sentiment scores is significant ($p < 0.01$) for all categories: Negativity, Neutrality, Positivity, and Compound.

V. CONCLUDING REMARKS

About four million people have died from the virus COVID -19 and millions more have been affected worldwide to date. Since the most important point to avoid the pandemic is to maintain social distance, people are using social media more than ever to communicate with each other and keep up with news. However, this also raises the question of being vulnerable to misinformation about the COVID -19 pandemic on social media. Worse, there is a consensus that distinguishing misinformation spread on social media is a non-trivial task for both humans and machines. In this study, we have attempted to understand the characteristics of such misinformation by means of a Twitter analysis.

We collected two types of tweets: Tweets with the hashtag #plandemic or #scamdemic and tweets with the hashtag #Covid19. Tweets from the former group began to spread after a former medical researcher posted a video called Plandemic, which spread various conspiracy theories about the pandemic. Since then, thousands of tweets have been posted under these hashtags aimed at spreading misleading information about the pandemic. We used these tweets to form the study group. The tweets of on the latter group address more general thoughts about the pandemic and served as the control group.

First, we sought to assess the reliability of the external sources provided in the tweets, including misinformation about the pandemic. For this purpose, we considered the URL address included in the tweets. Basically, we assumed that a website is credible if its corresponding URL address ends with the domain suffix "org" or "gov". From this perspective, we considered a tweet as reliable if it refers a website whose URL address contains "org" or "gov". We analyzed the URL addresses (including tiny URLs) in the study group and in the control group and found that only 6% of the web sources given in the tweets spreading misinformation about the pandemic is credible, while this rate is 14% for regular pandemic tweets. Moreover, we found this difference significant using the chi-square test. Second, we conducted two sentiment analyses to identify sentimental

characteristics of the tweets. In the first analysis, we employed a hedonometer to estimate the average happiness score of the tweets in both groups. There seems to be no significant difference in this manner between the tweets of the different groups. That is, there is no clear indication that a tweet disseminating misleading information about the pandemic COVID -19 contains negative words or hate speech.

Nevertheless, the second sentiment analysis based on the VADER method revealed that the tweets of the study group, i.e., the tweets spreading misinformation about the pandemic, contains slightly more negative sentiments. This could be because the negativity in the misleading tweets about the pandemic is expressed not only by the words themselves, but also by capital letters, punctuation, and emoticons, which can be reflected by the VADER method. Last but not least, this study can be extended in various directions, for example, analyzing the sarcastic features of tweets about the pandemic can be considered as a good future work.

REFERENCES

- [1] World Health Organization. (2021). COVID-19 Weekly Epidemiological Update. <https://www.who.int/publications/m/item/weekly-epidemiological-update-on-covid-19---22-june-2021>.
- [2] Wajahat, H. (2020). Role of social media in covid-19 pandemic. *The International Journal of Frontier Sciences*, 4(2), 59-60.
- [3] Singh, L., Bansal, S., Bode, L., Budak, C., Chi, G., Kawintiranon, K., ... & Wang, Y. (2020). A first look at COVID-19 information and misinformation sharing on Twitter. arXiv preprint arXiv:2003.13907.
- [4] Lewandowsky, S., & Cook, J. (2020). The Conspiracy Theory Handbook <https://www.climatechangecommunication.org/wpcontent/uploads/2020/03/ConspiracyTheoryHandbook.pdf>
- [5] Tagliabue, F., Galassi, L., & Mariani, P. (2020). The “pandemic” of disinformation in COVID-19. *SN comprehensive clinical medicine*, 2(9), 1287-1289.
- [6] Radu, R. (2020). Fighting the ‘Infodemic’: Legal Responses to COVID-19 Disinformation. *Social Media+ Society*, 6(3).
- [7] Brennen, J. S., Simon, F., Howard, P. N., & Nielsen, R. K. (2020). Types, sources, and claims of COVID-19 misinformation. *Reuters Institute*, 7, 3-1.
- [8] Baker, S. A. (2020). Tackling Misinformation and Disinformation in the Context of COVID-19. In Cabinet Office C19 Seminar Series. Cabinet Office.
- [9] Hutto, C., & Gilbert, E. (2014, May). Vader: A parsimonious rule-based model for sentiment analysis of social media text. In *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media*, 8(1).
- [10] Aggarwal, C. C., & Zhai, C. (Eds.). (2015). Mining text data. Springer Science & Business Media.
- [11] Isah, H., Trundle, P., & Neagu, D. (2014, September). Social media analysis for product safety using text mining and sentiment analysis. In 2014 14th UK workshop on computational intelligence (UKCI), 1-7.
- [12] Zhang, Q., Yi, G. Y., Chen, L. P., & He, W. (2021). Text mining and sentiment analysis of COVID-19 tweets. arXiv preprint arXiv:2106.15354.
- [13] Jianqiang, Z., Xiaolin, G., & Xuejun, Z. (2018). Deep convolution neural networks for twitter sentiment analysis. *IEEE Access*, 6, 23253-23260.
- [14] Wang, Y., McKee, M., Torbica, A., & Stuckler, D. (2019). Systematic literature review on the spread of health-related misinformation on social media. *Social Science & Medicine*, 240, 112552.
- [15] Sharma, K., Seo, S., Meng, C., Rambhatla, S., & Liu, Y. (2020). Covid-19 on social media: Analyzing misinformation in twitter conversations. arXiv e-prints, arXiv:2003.
- [16] Kouzy, R., Abi Jaoude, J., Kraitem, A., El Alam, M. B., Karam, B., Adib, E., ... & Baddour, K. (2020). Coronavirus goes viral: quantifying the COVID-19 misinformation epidemic on Twitter. *Cureus*, 12(3).
- [17] Pennycook, G., McPhetres, J., Zhang, Y., Lu, J. G., & Rand, D. G. (2020). Fighting COVID-19 misinformation on social media: Experimental evidence for a scalable accuracy-nudge intervention. *Psychological science*, 31(7), 770-780.
- [18] Huang, B., & Carley, K. M. (2020). Disinformation and misinformation on twitter during the novel coronavirus outbreak. arXiv preprint arXiv:2006.04278.
- [19] Koh, J. X., & Liew, T. M. (2020). How loneliness is talked about in social media during COVID-19 pandemic: text mining of Twitter feeds. *Journal of psychiatric research*, 4,492.
- [20] Mansour, S. (2018). Social media analysis of user’s responses to terrorism using sentiment analysis and text mining. *Procedia Computer Science*, 140, 95-103.

- [21] Ampofo, L., Collister, S., O'Loughlin, B., Chadwick, A., Halfpenny, P. J., & Procter, P. J. (2015). Text mining and social media: When quantitative meets qualitative and software meets people. *Innovations in digital research methods*, 161-192.
- [22] Gruzd, A., & Mai, P. (2020). Going viral: How a single tweet spawned a COVID-19 conspiracy theory on Twitter. *Big Data & Society*, 7(2).
- [23] Ahmed, W., Vidal-Alaball, J., Downing, J., & Seguí, F. L. (2020). COVID-19 and the 5G conspiracy theory: social network analysis of Twitter data. *Journal of medical internet research*, 22(5).
- [24] Kawchuk, G., Hartvigsen, J., Harsted, S., Nim, C. G., & Nyirö, L. (2020). Misinformation about spinal manipulation and boosting immunity: an analysis of Twitter activity during the COVID-19 crisis. *Chiropractic & manual therapies*, 28(1), 1-13.
- [25] Dodds, P. S., Harris, K. D., Kloumann, I. M., Bliss, C. A., & Danforth, C. M. (2011). Temporal patterns of happiness and information in a global social network: Hedonometrics and Twitter. *PloS one*, 6(12).
- [26] Cody, E. M., Reagan, A. J., Mitchell, L., Dodds, P. S., & Danforth, C. M. (2015). Climate change sentiment on Twitter: An unsolicited public opinion poll. *PloS one*, 10(8), e0136092.
- [27] Frank, M. R., Mitchell, L., Dodds, P. S., & Danforth, C. M. (2013). Happiness and the patterns of life: A study of geolocated tweets. *Scientific reports*, 3(1), 1-9.
- [28] Schwartz, A. J., Dodds, P. S., O'Neil-Dunne, J. P., Danforth, C. M., & Ricketts, T. H. (2019). Visitors to urban greenspace have higher sentiment and lower negativity on Twitter. *People and Nature*, 1(4), 476-485.
- [29] Pano, T., & Kashef, R. (2020). A Complete VADER-Based Sentiment Analysis of Bitcoin (BTC) Tweets during the Era of COVID-19. *Big Data and Cognitive Computing*, 4(4), 33.
- [30] Bhaumik, U., & Yadav, D. K. (2021). Sentiment Analysis Using Twitter. In *Computational Intelligence and Machine Learning*, Springer, Singapore, 59-66.
- [31] Valdez, D., Ten Thij, M., Bathina, K., Rutter, L. A., & Bollen, J. (2020). Social media insights into US mental health during the COVID-19 pandemic: longitudinal analysis of twitter data. *Journal of medical Internet research*, 22(12), e21418.
- [32] Cui, L., & Lee, D. (2020). Coaid: Covid-19 healthcare misinformation dataset. arXiv preprint arXiv:2006.00885.

Araştırma Makalesi -Research Article

Ankastre Bir Kirişin Ayırık Zamanlı Titreşim Modelinin Meta-sezgisel Optimizasyon Yöntemleri Kullanılarak Elde Edilmesi

Obtaining a Discrete Time Vibration Model of a Cantilever Beam by Using Meta-heuristic Optimization Methods

Serkan Çaşka¹, Muhammed Enes Dokuz^{2*}

Geliş / Received: 03/08/2021

Revize / Revised: 12/12/2021

Kabul / Accepted: 24/01/2022

ÖZ

Bu çalışmada, ankastre bir kiriş Ansys programında 3 boyutlu olarak modellenmiştir ve kirişe 5 kN'lık bir giriş kuvveti uygulanarak kirişin serbest ucunda meydana gelen yer değişimleri kaydedilmiştir. Kirişe uygulanan giriş kuvveti ve kirişin serbest ucunda oluşan yer değişimine ait çıkış veri seti kullanılarak literatürde dinamik sistemlerin modellenmesinde başarıyla uygulanmış Genetik Algoritmalar ve Parçacık Sürüsü Optimizasyonu yöntemleri ile ayırık zamanlı titreşim modelleri elde edilmiştir. Titreşim modellerinin modelleme başarısını içeren sonuçlar tablo halinde sunulmuştur. Ayrıca, Ansys programından alınan titreşim verisine ait harmonikler ve ayırık zamanlı modellere ait harmonikler Matlab/Simulink ortamında elde edilmiştir. Ayırık zamanlı titreşim modellerinin çıkış grafikleri ve harmonikleri incelendiğinde kirişin çıkış grafikleri ve harmoniklerine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Ayırık zamanlı modellerin kirişin titreşim davranışını başarıyla temsil ettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler- *Ankastre Kiriş, Sistem Modelleme, Genetik Algoritmalar, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu*

ABSTRACT

In this study, a cantilever beam was modeled as 3D by using Ansys program and the displacements at the free end of the beam were recorded after applying an input of 5 kN force to the beam. By using the output data set of the input force applied to the beam and the displacement at the free end of the beam, discrete-time vibration models have been obtained with Genetic Algorithms and Particle Swarm Optimization methods, which have been successfully applied in the modeling of dynamical systems in the literature. The results including the modeling success of the vibration models were presented in tabular form. In addition, harmonics of vibration data taken from Ansys program and harmonics of discrete time models were obtained in Matlab/Simulink environment. When the output graphics and harmonics of discrete-time vibration models was examined, it was determined that they were quite close to output graphics and harmonics of the beam. It was seen that the discrete-time models successfully represent the vibration behavior of the beam.

Keywords- *Cantilever Beam, System Modelling, Vibration Analysis, Genetic Algorithms, Particle Swarm Optimization*

¹İletişim: serkan.caska@cbu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2157-8931>)

Makine Mühendisliği, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Manisa, Türkiye

²Sorumlu yazar iletişimi: muhammed.dokuz@cbu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-7515-3744>)

Makine Mühendisliği, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Manisa, Türkiye

I. GİRİŞ

Kesiti boyuna göre oldukça küçük olan ve boyunun üzerinde bulunduğu eksene dik bir doğrultuda uygulanan kuvvetlerin etkisinde olan taşıyıcı elemanlara kiriş denir. Kirişler mesnetleme türüne göre basit kiriş, çıkmalı kiriş, ankastre kiriş vb. olarak isimlendirilebilir [1]. Ankastre mesnet, bir kirişi mesnetlemek için en kısıtlayıcı yöntemdir ve bu tür mesnetler kirişlerin dönmesine ve ötelenmesine engel olur. Ankastre olarak mesnetlenmiş kiriş literatürde titreşim analizi çalışmalarında kullanılan başlıca kiriş türüdür [2]. Literatürde ankastre kirişlerin analitik ve sonlu elemanlar yöntemiyle titreşim modellerinin elde edilmesini içeren oldukça fazla çalışma vardır [3,4]. Bununla birlikte mühendislik sistemlerinde aynı girişe karşılık gerçek sistem davranışıyla model davranışı arasında fark olabilmektedir. Bu sebeple deney seti üzerinden alınan verilerle elde edilen sistem modelleme yaklaşımları önemli olmaktadır. Deney setinden elde edilen modeller hem gerçek sistem davranışını temsil etmede başarılı olmaktadır hem bu sistemler için tasarlanan kontrolörlerin başarısını arttırmaktadır.

Mühendislik sistemlerinin modellenmesinde deneysel yöntemlerden gün geçtikçe daha fazla faydalanılmaktadır. Dinamik sistemlere ait giriş-çıkış veri setleri ayrık zamanlı ya da sürekli zamanlı modeller elde etmede kullanılmaktadır [5]. Oluşturulan modellere çeşitli giriş sinyalleri uygulanarak sistem davranışı gözlenebilmekte ve gerekliyse aktif kontrolör tasarlanmasında bu modeller kullanılmaktadır [6]. Günümüzde mikroişlemci teknolojisindeki gelişmeler sebebiyle mühendislik sistemlerinin modellenmesi ayrık zamanlı modeller şeklinde de yapılmaktadır [7].

Matlab ortamında matematiksel modellerin temsili Matlab kodları ile yapılabildiği gibi Simulink ortamında da yapılabilmektedir [8]. Simulink, matematiksel modellerin blok diyagramları ile ifade edilmesine imkân vermekte ve kod yazımını azaltmaktadır [9]. Titreşim modellerinin Simulink ortamında ifade edilmesi modellerin analizi açısından kolaylık sağlamaktadır. Hızlı Fourier dönüşümü yapabilen bloklar yardımıyla herhangi bir sistem çıkışına ait harmonikler elde edilebilmektedir [10].

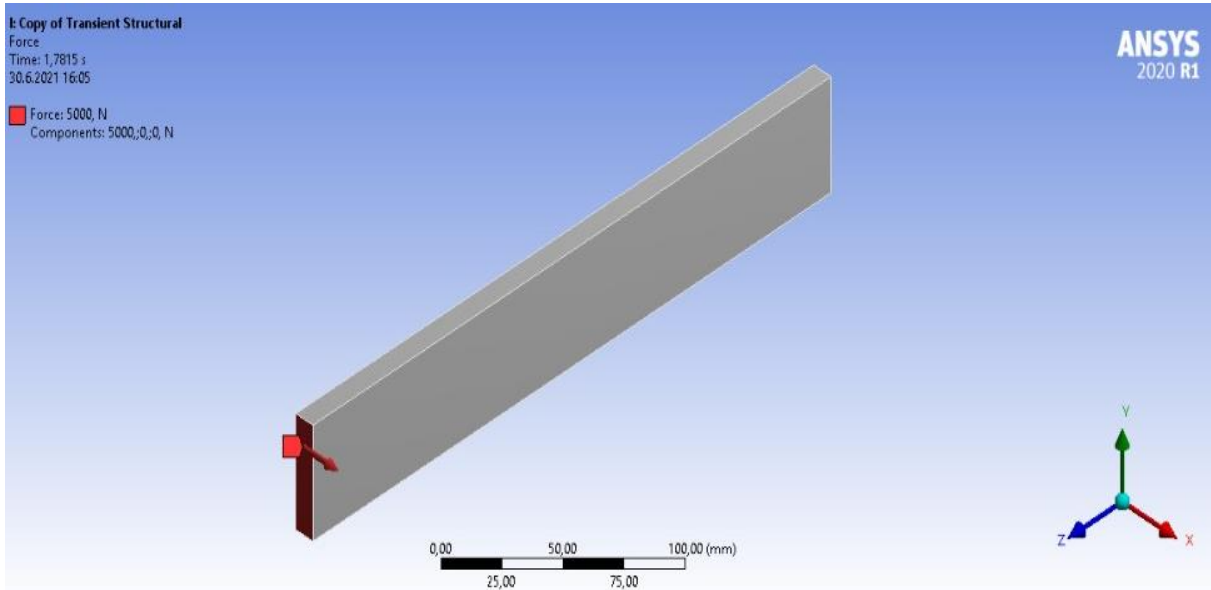
Literatürde ticari mühendislik programları aracılığıyla yapılan titreşim analizi ve modellemeye yönelik çalışmalar mevcuttur [11-13]. Bu çalışmada, akademik ve endüstriyel amaçlı olarak en çok kullanılan analiz programlarından biri olan Ansys programında modellenmiş ankastre bir kirişe 5 kN'lik bir giriş uygulanmıştır ve kirişin serbest ucunda meydana gelen titreşim kaydedilmiştir. Kirişe ait giriş-çıkış veri setleri kullanılarak kirişin titreşimini temsil eden ayrık zamanlı modeller elde edilmiştir. Ansys programından elde edilen titreşim verisine ait ve ayrık zamanlı modelden elde edilen titreşim verisine ait harmonikler ve grafikler Matlab/Simulink ortamında elde edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan algoritmalarından, Genetik Algoritmalar (GA) temel meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarından biridir ve literatürde birçok dinamik sisteminin yapısını belirlemek için kullanılmıştır [14]. Genetik algoritmalar yönteminin dinamik sistemlerin tanımlanmasında ve kontrolünde tercih edilmesinin başlıca sebebi yapısının basit ve uzun yıllardır başarıyla kullanılıyor olmasıdır. Sistem modelleme uygulamalarında kullanılan bir diğer meta-sezgisel algoritma da Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) metodudur. PSO algoritması birçok dinamik sistemin modellenmesinde ve bu sistemlere kontrolör tasarlanmasında başarıyla kullanılmıştır [15].

Bu çalışmanın amacı kullanılan meta-sezgisel algoritmaların hangisinin kuvvet girişi-titreşim çıkışı veri setini en doğru şekilde temsil eden dinamik modeli elde edeceğini tespit etmektir. Bu çalışmada, literatürde dinamik sistemlerin modellenmesinde başarıyla uygulanmış Genetik Algoritmalar ve Parçacık Sürüsü Optimizasyonu yöntemleri ile ayrık zamanlı titreşim modelleri elde edilmiştir. Bu algoritmaların literatürde yer alan diğer optimizasyon algoritmalarına göre üstünlükleri prosedürlerinin basit olması ve kod olarak ifade edilmelerinin kolay olmasıdır. Eksik yanları ise yerel minimum olarak adlandırılan optimum olmayan çözümleri elde etme ve bulunan optimum çözümlerin de yaklaşık çözüm olma ihtimalinin olmasıdır.

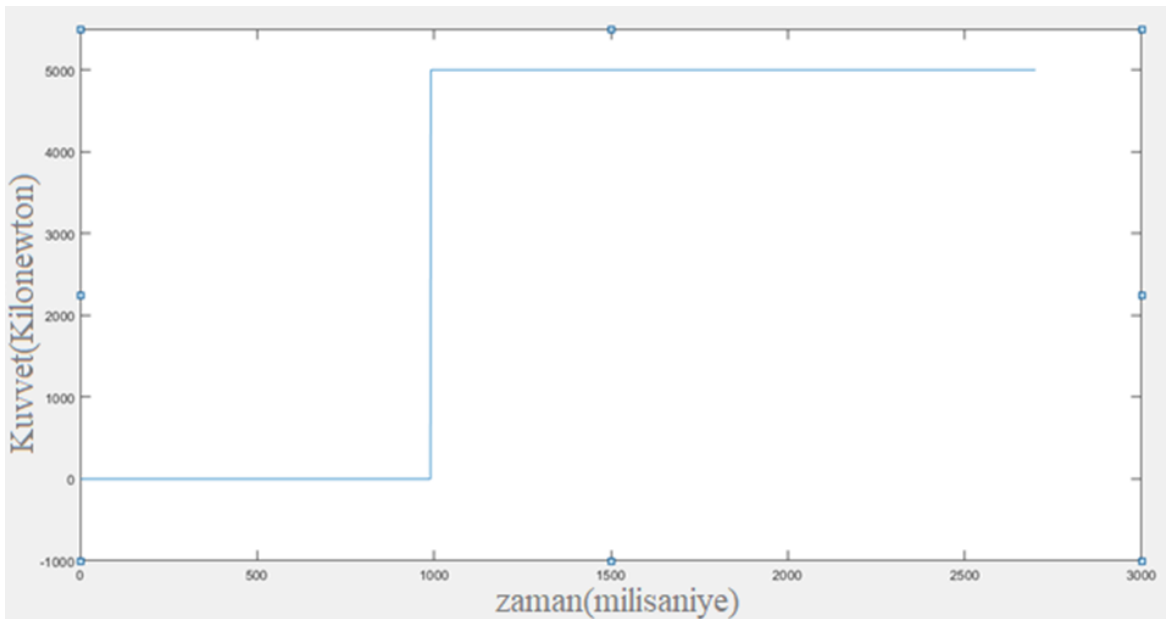
II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada elastisite modülü 200 GPa, yoğunluğu 7850 kg/m³, poisson oranı 0,3 olan yapısal çelik malzeme özelliklerine ve 10x50x300mm ölçülerine sahip bir kiriş Ansys ortamında 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Kiriş bir ucundan ankastre olarak mesnetlenmiş ve kirişin serbest ucuna 5 kN'lik bir kuvvet uygulanmıştır. Model hexahedron metodu ile 80 elemanlı ve 683 düğüm noktalı mesh yapısı ile örülmüştür. Transientstructural (sürekli yapısal) analiz modülünde oluşturulan kuvvet ekseni boyunca oluşacak ekstenel yer değişimi sonlu elemanlar yöntemi ile çözümlenmiştir. Kirişin serbest ucunda meydana gelen yer değişimleri titreşim modelinin elde edilmesinde kullanılmak üzere kaydedilmiştir. Şekil 1'de Ansys ortamında oluşturulmuş ankastre kiriş gösterilmiştir.



Şekil 1. Ansys ortamında modellenmiş ankastre kiriş

Ansys ortamında 3 boyutlu olarak modellenmiş ankastre kirişin serbest ucuna 2,7 saniye boyunca 5 kN'lik bir giriş kuvveti uygulanmış ve çıkış olarak oluşan titreşime ait veriler saniyede 1000 veri içerecek şekilde toplamda 2700 veri kaydedilmiştir. Şekil 2'de kirişe Ansys ortamında x eksenine doğrultusunda uygulanmış giriş kuvvetine ait grafik verilmiştir.



Şekil 2. Kirişe Ansys ortamında uygulanmış giriş kuvveti

Ankastre kirişe uygulanan giriş kuvveti ve girişe karşılık oluşan yer değişimine ait çıkış veri seti kullanılarak Matlab programında PSO ve GA yöntemleri kullanılarak Eşitlik (1)'de ve Eşitlik (2)'de verilen ayrık zamanlı doğrusal modeller elde edilmiştir.

T_PSO(z)

$$= \frac{0.00000000112048z^4 + 0.000186968238751277z^3 + 0.000668981033825553z^2 - 0.00136796110038221z^1 + 0.000980715072206144}{z^4 - 3.02559885653659z^3 + 3.74552631131522z^2 - 2.16147667125710z + 0.487056527199281}$$

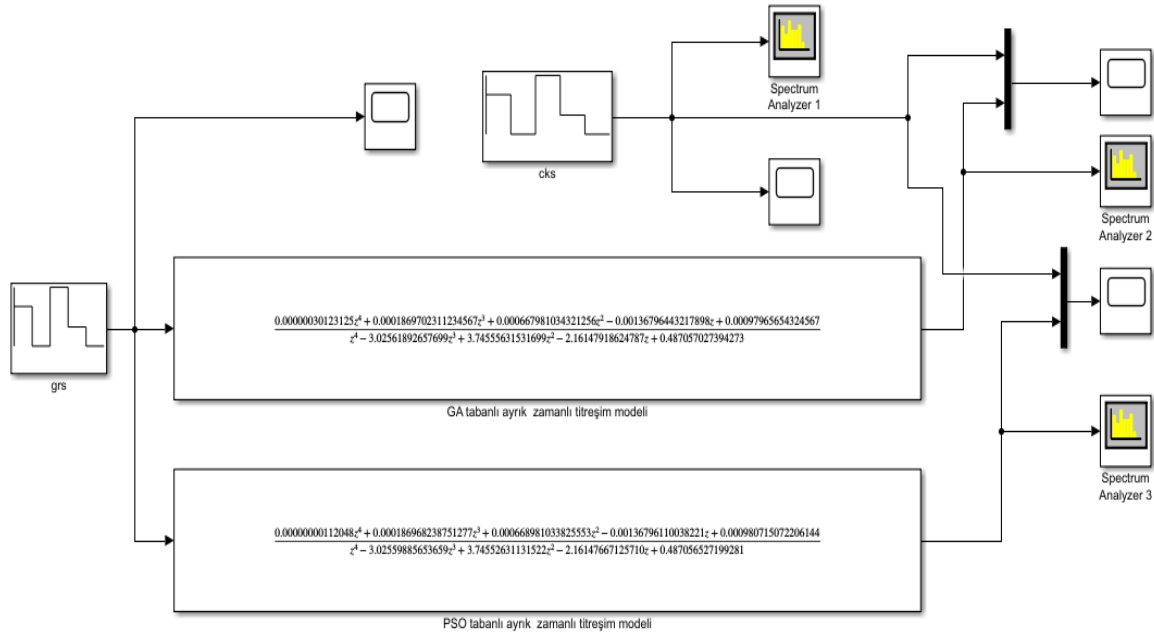
(1)

T_GA(z)

$$= \frac{0.00000030123125z^4 + 0.0001869702311234567z^3 + 0.000667981034321256z^2 - 0.00136796443217898z + 0.00097965654324567}{z^4 + 3.02561892657699z^3 + 3.74555631531699z^2 - 2.16147918624787z + 0.487057027394273}$$

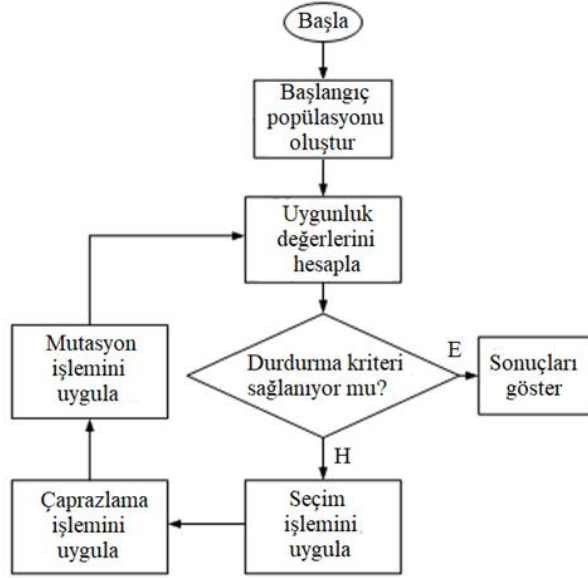
(2)

Eşitlik (1) ve Eşitlik (2)'deki z bir karmaşık sayıdır ve Z-dönüşümüne uğramış dinamik sistem modellerinin gösteriminde kullanılan bağımsız değişkendir [16]. Elde edilen ayrık zamanlı modellerin çıkışı ve girişin titreşimine ait çıkış verisini tek bir grafikte göstermek için Simulink blok diyagramları oluşturulmuştur. Simulink kütüphanesinde yer alan Spectrum Analyzer bloğu yardımıyla ayrık zamanlı modellere ait ve girişin titreşimine ait harmonikler elde edilmiştir. Ayrık zamanlı titreşim modellerini içeren Simulink blok diyagramı Şekil 3'te gösterildiği gibidir.



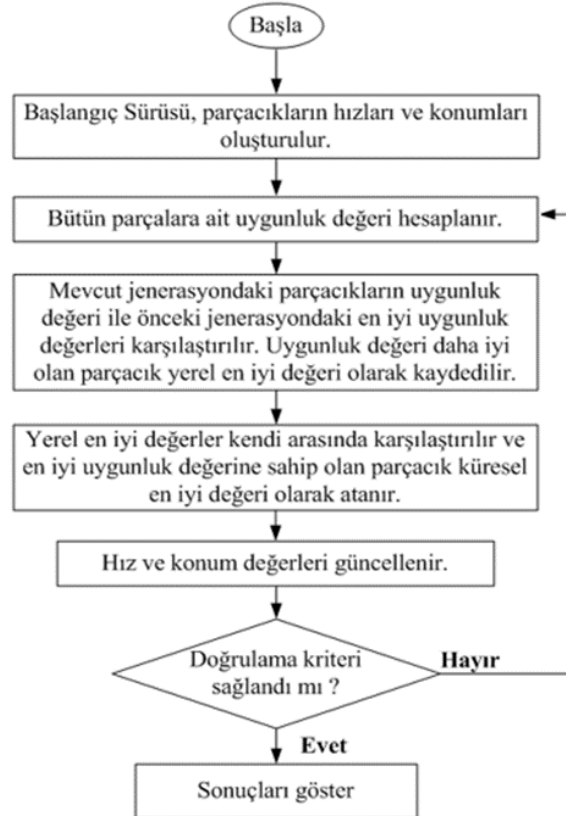
Şekil 3. Ayrık zamanlı titreşim modellerini içeren Simulink blok diyagramı

Bu çalışmada, ayrık zamanlı titreşim modellerinin elde edilmesi için GA ve PSO yöntemleri kullanılmıştır. GA prosedürü, kromozom popülasyonunun oluşturulmasıyla başlamaktadır. Kromozomlar, aday çözümleri temsil etmektedir ve başlangıçta rastgele seçilmektedir. Kromozomlar, genler olarak adlandırılan bitlerden oluşturulur. GA prosedüründe, kromozomların mutasyonunu gerçekleştirmek için mutasyon operatörü kullanılırken, doğal çoğalmayı sağlamak için çaprazlama operatör kullanılmaktadır. Oluşturulan kromozomlardan uygunluk değeri daha iyi olanlarının optimizasyon sürecine katkısını artırmak için kromozomlara seçim işlemi uygulanır. Bu çalışmada, GA prosedüründe tek noktalı çaprazlama, elitist seçim ve %10 mutasyon oranı kullanılmıştır. GA optimizasyon sürecinin akış diyagramı Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. GA yöntemine ait akış diyagramı

Bu çalışmada, meta-sezgisel algoritmalarından olan PSO algoritması da ayrı zamanlı titreşim modeli elde edilmesinde kullanılmıştır. PSO algoritması, kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışları dikkate alınarak 1995 yılında geliştirilmiştir. Bu algoritmanın çalışma mantığı balık ve kuş sürülerinin yiyecek veya yuva bulmak için bir alanı incelemesine dayalıdır. PSO algoritmasında kullanılan sürü içerisindeki her bir elemana parçacık denir. PSO'ya ait işlemlerden oluşan akış diyagramı Şekil 5'te verilmiştir. Bu çalışma kapsamında PSO algoritmasında kullanılan parametreler Tablo 1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 5. PSO yöntemine ait akış diyagramı

Tablo 1. PSO yöntemine ait parametreler

Parametre ismi	Parametre değeri
Sürü büyüklüğü	50
Hızlanma katsayıları	1
Eylemsizlik momenti	0.9

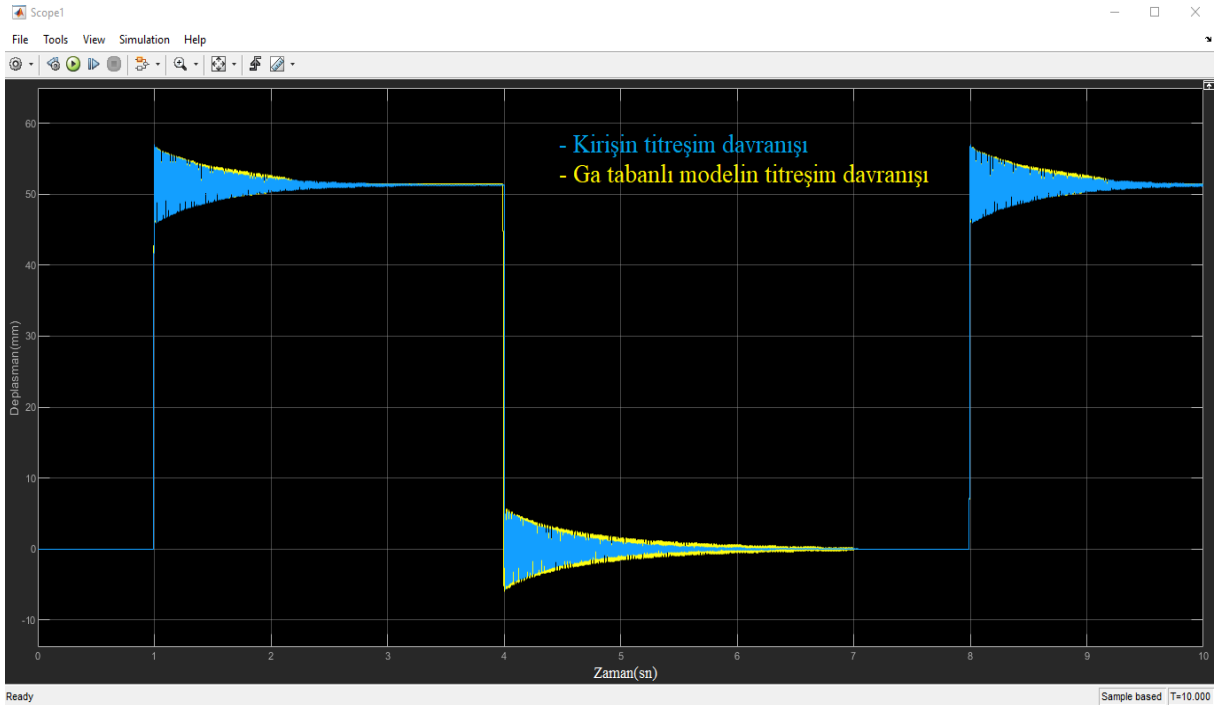
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, öncelikle kirişin titreşimine ait giriş-çıkış verileri arasındaki ilişkiyi en iyi temsil eden modeli elde etmek için Matlab üzerinde birçok deneme yapılmış ve sonuçta modelin 4 adet kutup ve 4 adet sıfır içeren bir yapıda olması gerektiğine karar verilmiştir. Ayrık zamanlı modellerin katsayılarını bulmada kullanılan GA ve PSO yöntemlerine ait modelleme başarısını gösteren R^2 ve ortalama karesel hata (mse) değerleri Tablo 2’de gösterildiği gibidir.

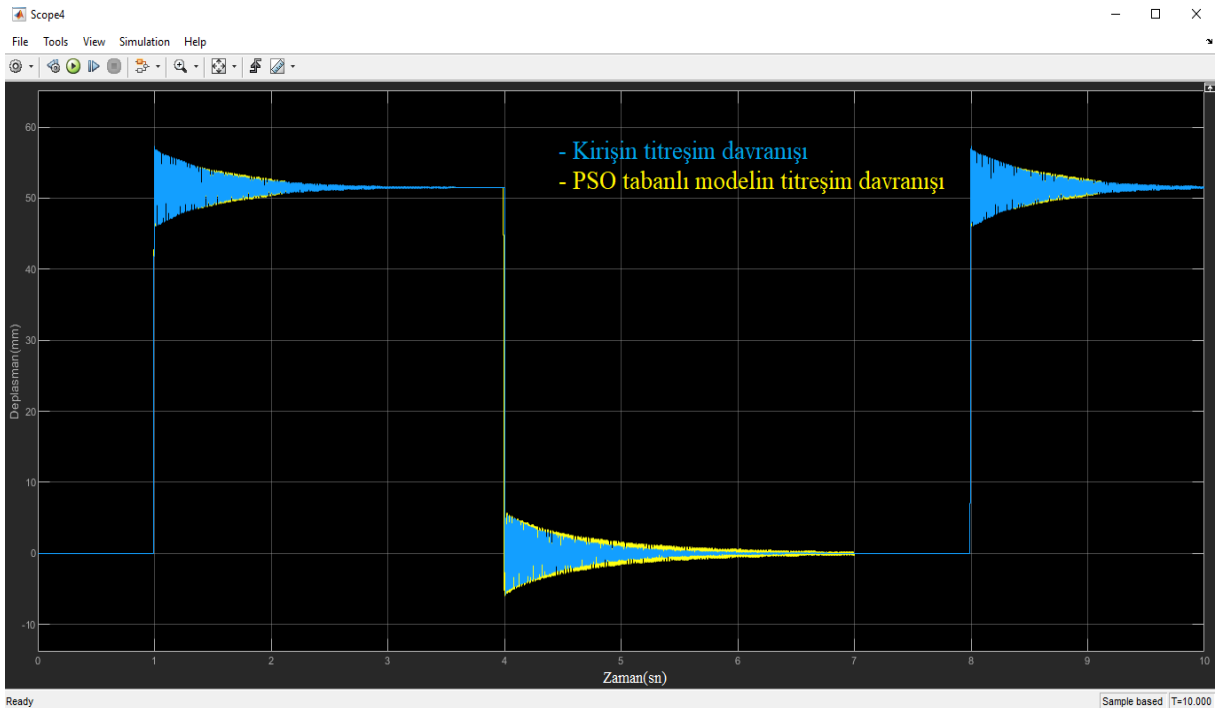
Tablo 2. Ayrık zamanlı modellere ait R^2 ve mse değerleri

Model	R^2	mse
GA tabanlı ayrık model	0.931	4.934×10^{-3}
PSO tabanlı ayrık model	0.963	4.056×10^{-3}

Simulink kütüphanesinde yer alan Scope bloğu yardımıyla ayrık zamanlı modellerin ve kirişin titreşimine ait çıkış grafikleri elde edilmiştir. Giriş kuvvetine karşılık kirişte oluşan titreşim ile GA ve PSO yöntemleriyle elde edilen ayrık zamanlı sistemlerin çıkışı sırasıyla Şekil 6’da ve Şekil 7’de gösterilmektedir. Çıkış grafikleri incelendiğinde birbirine oldukça yakın olduğu ve ayrık zamanlı modellerin kirişin titreşim davranışını başarıyla temsil ettiği görülmüştür. Grafiklerin tam olarak üst üste olmaması modelleme başarısı ile ilgilidir. R^2 değeri 1’e daha yakın olan ve mse değeri 0’a daha yakın olan modeller elde edilmesi durumunda grafikler birbirine daha çok benzeyecektir.



Şekil 6. Giriş kuvvetine karşılık kirişte oluşan titreşim ve GA tabanlı ayrık zamanlı modelin titreşim davranışı



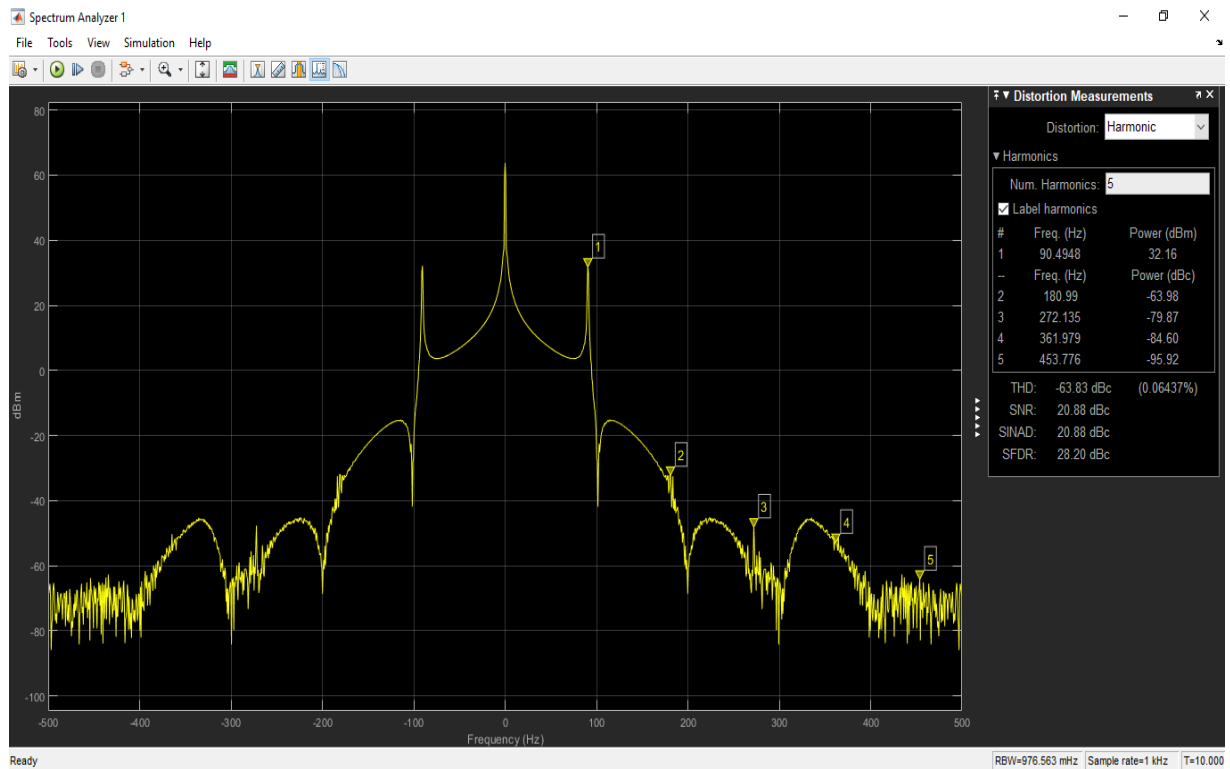
Şekil 7. Giriş kuvvetine karşılık kirişte oluşan titreşim ve PSO tabanlı ayrık zamanlı modelin titreşim davranışı

Şekil 3'te görülen Simulink blok diyagramında yer alan Spectrum Analyzer bloğu kullanılarak ayrık zamanlı modellere ait ve kirişin titreşimine ait harmonikler elde edilmiştir. Harmonikler incelendiğinde ayrık zamanlı modellerden elde edilen harmoniklerin değerinin aynı olduğu ve Ansys kiriş modelinin harmoniklerine oldukça yakın oldukları tespit edilmiş ve ayrık zamanlı modellerin kirişin titreşim davranışını başarıyla temsil ettiği doğrulanmıştır. Şekil 8'de Spectrum Analyzer bloğu ile harmoniklerin edilmesi gösterilmiştir. Tablo 3'te

kirişin titreşiminden elde edilen ve ayırık zamanlı modellerin çıkışından elde edilen ilk üç harmonik gösterilmektedir.

Tablo 3. Kirişin titreşiminden elde edilen ve ayırık zamanlı modellerin çıkışından elde edilen harmonikler

Veri kaynağı	1. Harmonik(Hz)	2. Harmonik(Hz)	3. Harmonik(Hz)
Ansys Kiriş titreşimi	90.495	180.990	272.135
GA tabanlı ayırık model çıkışı	90.495	180.339	271.484
PSO tabanlı ayırık model çıkışı	90.495	180.339	271.484



Şekil 8. Kiriş titreşimine ait harmoniklerin elde edilmesi

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Ansys ortamında oluşturulmuş bir ankastre kirişin serbest ucuna kuvvet uygulanması sonucu oluşan titreşim ile bu kuvvet girişi-titreşim çıkışı veri kümesinden elde edilen ayırık zamanlı modellerin aynı kuvvet girişine karşılık oluşturduğu çıkışının benzerliğini araştırılmıştır. Sonuçların benzerliğini ispatlamak için Matlab/Simulink ortamında Hızlı Fourier dönüşümü yapabilen “Spectrum Analyzer” bloğu ve çıkış grafiklerini görüntülenmesini sağlayan “Scope” bloğu kullanılmıştır. Ayırık zamanlı modellerden edilen çıkış grafikleri ve harmonikleri incelendiğinde, kirişin Ansys modelinden elde edilen çıkış grafiğine ve harmoniklerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum ayırık zamanlı modellerin ankastre bir kirişin titreşim davranışını başarıyla temsil edebildiğini göstermiştir. Bununla birlikte elde edilen R^2 değerleri, mse değerleri incelendiğinde PSO yönteminin GA yönteminden daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada Ansys üzerinde modellenmiş bir kirişin titreşim modelleri Matlab ortamında elde edilmiştir. Simülasyon ortamında bir giriş işaretini istenen genlikte ve sürede uygulamak ve çıkışı istenen sıklıkta veri ile gözlemlemek mümkündür. Ayrıca simülasyon ortamında kiriş üzerine aktüatörler ve sensörler yerleştirilmesi gerekmemektedir. Gerçek bir deney seti üzerinde yer alacak ankastre bir kirişin titreşim modeli elde edilmek istendiğinde ise kiriş üzerine aktüatör ve sensör elemanları yerleştirilmelidir. Bu şartlar altında kirişin titreşim

davranışı değişecektir. Ayrıca titreşim verisinin sensörden alınma sıklığı modelleme başarısı açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada Ansys üzerinde modellenmiş kirişin titreşimine ait verinin sıklığı saniyede 1000 veridir. Gerçek bir deney seti üzerinde yer alan sensörlerden bu sıklıkta veri alabilmek için kullanılacak veri toplama kartının ya da mikrokontrolörün yüksek bir işlem kapasitesine sahip olması beklenir. Aksi halde modelleme başarısı da düşük olacaktır. Ayrıca gerçek deney seti üzerindeki bir sensörden okunan verinin elektriksel gürültü içermesi de muhtemeldir ve bu da modelleme başarısını düşürecektir. Yazarlar gelecek çalışması olarak, gerçek bir deney seti üzerinde yer alacak bir kirişin titreşiminin meta-sezgisel yöntemlerle ayrık zamanlı olarak modellenmesi durumunda oluşacak modelleme başarısını araştırmayı planlamaktadır.

Bu çalışmada, literatürde dinamik sistemlerin modellenmesinde başarıyla uygulanmış Genetik Algoritmalar ve Parçacık Sürüsü Optimizasyonu yöntemleri ile ayrık zamanlı titreşim modelleri elde edilmiştir. Bu algoritmaların literatürde yer alan diğer optimizasyon algoritmalarına göre üstünlükleri prosedürlerinin basit olması ve kod olarak ifade edilmelerinin kolay olmasıdır. Eksik yanları ise yerel minimum olarak adlandırılan optimum olmayan çözümleri elde etme ve bulunan optimum çözümlerin de yaklaşık çözüm olma ihtimalinin olmasıdır. Bu sebeple farklı optimizasyon algoritmaları kullanılarak R2 ve mse değerleri bakımından daha iyi modeller elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Sunguroğlu, N. G. (2015). *Sivriltilmiş Ankastr Kiriş Yapılarda Kiriş Teorilerinin İncelenmesi ve Titreşim Analizi Uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Uslu Uysal, M., (2018). Deleminasyon içeren eğri eksenli kompozit kirişlerin titreşim davranışlarının incelenmesi. *DÜMF Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(2), 775-784.
- [3] Yavuz, Ş., Uyar, M., Malgaca, L., & Karagülle H., (2018). Eşdeğer Kütle-Yay-Sönüm Elemanı Kullanılan Ankastr Kompozit Bir Kirişin Titreşim Analizi, *DÜMF Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(60), 946 - 954.
- [4] Yanık., F., & Yaylı M. Ö. (2015). Rijit Olmayan Sınır Koşullarında Elastik Zemine Oturan Bir Çubuğun Eksenel Titreşim Analizi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 35 - 44.
- [5] Wills, A., Mills, A., & Ninness, B., (2009). A MATLAB Software Environment for System Identification. *Proceedings of the 15th IFAC Symposium on System Identification*, 6-8 July, Saint-Malo, France, 741-746.
- [6] Yıldız, K. (2019). İnce Cidarlı Kompozit Kiriş Olarak Modellenmiş Uçak Kanatlarının Eğilme-Eğilme Bağlaşım Titreşiminin Aktif Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 1274-1284.
- [7] Wang, X., Huang, Q., Zhang B., Chen, D., & Guan Q, (2021). Z domain modeling of peak current mode control for full bridge DC DC buck converters, *Journal of Power Electronics*, 21, 27-37.
- [8] Fei, G, Fei, Q. X., & Pei, Z., (2014). The Application of Simulink for Vibration Simulation of Suspension Dual-mass System, *Sensors&Transducers*, 175(7), 6-10.
- [9] Kaplan, K., Kuncan, M., Polat, H., Tepe, B., & Ertunç H.M. (2020). PID ve Bulanık Mantık Tabanlı DC Motorun Gerçek Zamanlı Konum Kontrolü, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 900-916.
- [10] Lin, H.C., Ye, Y.C., Huang B.J., & Su J.L. (2016). Bearing vibration detection and analysis using enhanced fast Fourier transform, *Advances in Mechanical Engineering*, 8(10), 1-14.
- [11] Karagülle, H., Malgaca, L. & Öktem, H.F. (2004). Analysis by active vibration control in smart structures by ANSYS, *Smart Materials and Structures*, 13(4), 661-667.
- [12] Yavuz, Ş., & Hira Karagülle, H. (2021). Analysis of vibration control of a single-link epoxy-glass composite manipulator by FFT method, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(2), 685-699.
- [13] Akdağ, M., & Şen, H. (2021). Tek Eksen Esnek Manipülörün Titreşim Kontrolü için S-eğrisi Hareket Profili Tasarımı, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(68), 661-676.
- [14] Jayachitra, A., & Vinodha, R. (2014). Genetic Algorithm Based PID Controller Tuning Approach for Continuous Stirred Tank Reactor, *Advances in Artificial Intelligence*, 2014, 1-8.

- [15] Mukhtar, A., Tayal, V. K. & Singh, H. (2019). PSO Optimized PID Controller Design for the Process Liquid Level Control, 3rd International Conference on Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE), 10-11 October, Noida, India.
- [16] Noda, T., & Ramirez, A. (2007). z-Transform-Based Methods for Electromagnetic Transient Simulations, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 22(3), 1799-1805.

Araştırma Makalesi - Research Article

The Effects of Different Reinforcement Ratios on Wear Behaviors in EN AW 5754 (AlMg3)/SiCp Composite Materials Produced with the Squeeze Casting Method

Sıkıştırma Döküm Yöntemi İle Üretilen EN AW 5754 (AlMg3)/SiCp Kompozit Malzemelerde Farklı Takviye Oranlarının Aşınma Davranışları Üzerine Etkisi

Vedat Taşkın^{1*}, Cuma Kılıç², Rifat Yakut³, Nilhan Ürkmez Taşkın⁴

Geliş / Received: 03/08/2021

Revize / Revised: 17/02/2022

Kabul / Accepted: 14/03/2022

ABSTRACT

In this study, SiCp particles were reinforced at volumetric ratios of 5%, 10%, 15% and 20% into the EN AW 5756 (AlMg3) metal matrix composite by using the squeeze casting method. The squeezing process was carried out for 10 seconds under a pressure of 80 MPa. The changes in the wear behaviors and friction coefficients of the EN AW 5754/SiCp composite samples were examined under 1.0 N force, 5000 cycles and with a 0.04 m/s sliding speed. As a result of the experiments, it was found that the friction coefficient value increased from the non-reinforced alloy to the 10% SiCp-reinforced composite, while it then decreased in the 15% and 20% SiCp-reinforced composites. Moreover, the amount of wear in the composite material increased as the ratio of the reinforcement increased, and the highest wear occurred in the 10% SiCp-reinforced composite. This wear rate decreased in the 15% reinforced composite and then increased in the 20% reinforced composite. The deformation wear statuses of the composite materials that were used in the experiments were examined by conducting SEM (Scanning Electron Microscopy) and EDS (Energy-Dispersive Spectrometry) analyses. In these examinations, it was observed that the 5% and 10% SiCp reinforcements did not show a homogeneous distribution in the matrix, but the 15% and 20% SiCp reinforcements were homogeneously distributed in the matrix material.

Keywords- EN AW 5754 (AlMg3) Matrix Composites, SiCp, Squeeze Casting, Friction, Wear

ÖZ

Yapılan çalışmada, sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak hacimce %5, %10, %15 ve %20 hacim oranlarında SiCp parçacıkları EN AW 5754 (AlMg3) metal matrisli kompozit içine katılarak takviye edilmiştir. Sıkıştırma işlemi, 80 MPa basınç altında 10 saniye olacak şekilde uygulanmıştır. Üretimi yapılmış olan EN AW 5754/SiCp kompozit numunelerin aşınma davranışları ve sürtünme katsayısındaki değişimler 1.0 N kuvvet altında 5000 çevrimde 0,04 m/s kayma hızında incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda sürtünme katsayısı incelendiğinde, takviyesiz alaşımdan %10 SiCp takviyeli kompozite kadar arttığı daha sonra %15 ve %20 SiCp takviyeli

^{1*}Corresponding author contact: vedattaskin@trakya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-3013-2317>)

Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Trakya University, Edirne, Turkey

²Contact: cumakilic@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-7612-5702>)

Institute of Science, Department of Mechanical Engineering, Trakya University, Edirne, Turkey

³Contact: rifat.yakut@batman.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-0059-3785>)

Faculty of Technology, Department of Energy Systems, Batman University, Batman, Turkey

⁴Contact: nilhanu@trakya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-2251-3889>)

Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Trakya University, Edirne, Turkey

kompozitlerde ise düştüğü görülmüştür. Bunun dışında kompozit malzemenin aşınma miktarı, takviye oranı arttıkça artmış % 10 SiCp takviyeli kompozitte en yüksek aşınma durumu meydana gelmiştir. Daha sonra % 15 SiCp takviyeli kompozitte bu oran düşmüş, %20 takviyeli kompozitte ise bu oranın tekrar artışa geçtiği görülmüştür. Deneylerde kullanılan kompozit malzemelerin deformasyon aşınma durumları SEM (Taramalı elektron mikroskobu) ve EDS (Enerji Dağılım Spektrometresi) analizleri yapılarak incelenmiştir. Bu incelemelerde, %5 ve %10 SiCp takviyelerinin matris içerisinde homojen dağılım gösteremediği, fakat %15 ve %20 SiCp takviyelerinin matris malzemesi içerisinde homojen dağıldıkları görülmüştür.

Anahtar Kelimeler-EN AW 5754 (AlMg3) Matrisli Kompozitler, SiCp, Sıkıştırma Döküm, Sürtünme, Aşınma

I. INTRODUCTION

With technological developments today, the need for new-generation materials with superior properties is increasing constantly. Some of such materials are composite materials. The prominent properties of composites are generally dependent on the properties, size, and concentration of the reinforcement material, the characteristics of the matrix, the preparation method and the bond strength of the interface between the matrix and the fillings. Composite materials are used to obtain high strength, improved rigidity, lower density, and improved thermal and electrical properties in a composite structure [1-4]. Composite materials are formed by combining two or more materials, and this way, they meet product demands by improving the mechanical and thermal properties of materials. For composite production, various metals such as aluminum, steel alloys, magnesium, brass, bronze and cast irons can be used as matrix or reinforcement materials [5-6]. Composite materials, which gain a high strength/weight ratio, high tensile and compressive strength, good corrosion resistance and wear resistance, as well as the ductility and toughness of metals and high strength and high modulus of elasticity of ceramics, by combining the desired properties of different materials on a macro level, are advanced materials whose area of usage has increased today in almost all industrial fields, especially defense, automotive and aviation [7-13].

Mostly, aluminum alloys are used as the matrix in composite materials. These are among materials that are preferred in the production and manufacturing sector as they are light, easy to cast, have superior mechanical properties, low density and high thermal and electrical conductivity. However, the fact that the wear resistance of Al and its alloys is low limits their application areas. To improve the existing properties of aluminum and its alloys, metal matrix composite (MMC) materials are produced by using hard reinforcement components in the form of whiskers, fibers, or particles. The wear performance of MMC materials varies based on the properties of the matrix and the reinforcement material [14-16].

Adding reinforcing particles into aluminum which is used as the matrix material reduces its wear rate and friction coefficient. The particle size, volumetric ratio or compositions affect the friction coefficients of aluminum alloy composites [17].

In this study, SiCp particles that were used as the reinforcement material were added to the EN AW 5754 alloy that was used as the matrix material at volumetric ratios of 5%, 10%, 15%, and 20%. The stirring process continued during and after the addition of the reinforcement material into the matrix material. This way, it was ensured that the reinforcement material was homogeneously mixed into the matrix material. The homogeneous mixture was taken into a mold, the upper lid was closed, and the squeezing step was performed for 10 seconds under a pressure of 80 MPa. In the production of the composite material by using the squeeze casting method, it was expected that its porosity ratio would be lower, and as a result of this, there would be less mass loss during the wear test. For the EN AW 5754/SiCp composite materials that were produced homogeneously with different reinforcement ratios, changes in wear rates and friction coefficients were investigated in this study under certain conditions.

II. MATERIAL AND METHOD

A. Matrix Material

The EN AW 5754 (AlMg3) alloy was selected as the matrix material to produce SiCp particle-reinforced composite materials. The density of this alloy is 2.68 g/cm³, and 5xxx series wrought aluminum alloys are those that cannot be thermally treated, and they can only be hardened by morphological changes. These alloys that cannot be heat-treated gain their highest mechanical properties by strain hardening, which is a method of increasing hardness and strength by cold forming. The properties of the EN AW 5754 alloy are given in Table 1 [14].

Table 1. Properties of EN AW 5754 aluminum alloy [18]

<i>Chemical Composition (%)</i>										
Al	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Mn+Cr	Other
Base	0.40	0.40	0.10	0.50	2.6-3.6	0.20	0.30	0.15	0.60	0.15
<i>Physical Properties</i>										
Density	Melting point	Thermal expansion	Modulus of elasticity	Thermal conductivity	Electrical resistivity					
2.66 g/cm ³	600 °C	24x10 ⁻⁶ /K	68 GPa	147 W/m.K	0.049x10 ⁻⁶ Ω.m					
<i>Mechanical Properties</i>										
Yield Strength (Min-Max.)	Tensile Strength (Min-Max.)	Elongation (50%)	Brinell hardness							
80-100 MPa	190-215 MPa	24	44 HB							

B. Reinforcement Materials

The average particle size of the silicon carbide (SiCp) that was used in this study as the reinforcement material was 13 µm. SiCp particles have better wettability by liquid aluminum in comparison to other ceramic reinforcement components such as alumina (Al₂O₃) and aluminum nitride (AlN) due to their mechanical strength, high oxidation resistance and thermal shock resistance. As they are inexpensive, they are used in composite material applications, as well as wear-resistant nozzles, casting filters, casting ladles, and ceramic furnaces [19-22]. Some mechanical and physical properties of SiCp reinforcement materials are given in Table 2.

Table 2. Mechanical properties of SiCp particles [22]

<i>Reinforcement Material</i>	<i>SiCp</i>
Density (g/cm ³)	3.20
Thermal Expansion Coefficient (10 ⁻⁶ /K)	5
Melting Point (°C)	2500
Compressive Strength (MPa)	2000
Elasticity Modulus (10 ³ MPa)	414
Hardness(HV)	3000

C. Production of Composite Materials with the Squeeze Casting Method

After putting the matrix material in a melting pot, the melting pot was put into the production furnace. The nitrogen gas supply was placed into the furnace so that the gas would contact the molten metal in a hot form. The matrix material inside the furnace was heated to the semi-solid temperature range (500-600 °C) in the nitrogen atmosphere by speed stirring at a low speed and wreaking using stirrers with ends that had a specialized profile. When the temperature inside the furnace reached the semi-solid temperature range, the reinforcement material started to be added into the matrix material.

The material was reinforced by stirring SiCp particles at ratios of 5%, 10%, 15% and 20% by volume into the EN AW 5754 aluminum alloy which was in a semi-solid state by using the modified squeeze casting method. When the reinforcement addition processes were completed, homogenization was carried out by applying short-lasting high-speed stirring to the mixture whose temperature increased fast, and the mixture in the semi-solid form after stirring and homogenization was taken into a steel mold. The upper lid was closed, the mold was put under the press, and the squeezing process was started within a few seconds. The squeezing process of the composite material inside the mold was carried out for 10 seconds under a pressure of 80MPa. The mold was taken out after the squeezing step was completed. The squeezed composite material was left to cool inside the mold for a while, and the material was then removed from the mold and left to cool at the ambient temperature. This way, prismatic composite samples were created with dimensions of 110 mm x 140 mm x 25 mm.

For each reinforcement ratio, 3 samples were cast with the EN AW 5754/SiCp composite materials that were produced with the semi-solid stirring method. To compare the properties of the composites that were

produced to those of the matrix alloy, unreinforced matrix alloy samples were produced under the same conditions to form the control samples [21].

D. Wear Experiment

In the wear experiment, the dry sliding wear behaviors of the EN AW 5754/SiCp composite samples produced at different reinforcement ratios were examined under a force of 1.0 N, with 5000 cycles and with a sliding speed of 0.04 m/s (Figure 1). The wear tests were conducted at an ambient temperature of 24 °C. The samples that were used for the test had dimensions of 20 mm x 20 mm x 10 mm. An alumina sphere with a diameter of 10 mm was used in the experiment.



Figure 1. Wear experiment setup

5XXX series aluminum alloys are alloys that cannot be subjected to thermal treatment and do not show precipitation hardening. They are known as relatively softer alloys. Despite this, their wear performance is very high [14].

III. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the EN AW 5754 aluminum alloy was especially selected as the matrix material due to its prevalent usage in the industrial field. Composites were obtained by stirring the SiCp material that was used as the reinforcement material into the aluminum alloy that was in a semi-solid state. Changes in the wear behaviors and friction coefficients of the sample materials that were produced at reinforcement ratios of 0%, 5%, 10%, 15% and 20% were examined under a force of 1.0 N.

A. Specific Weight and Porosity Measurement Results

The densities of the composite samples that were produced by SiCp particle reinforcement were measured based on the Archimedes principle. The changes in the theoretical and experimental specific weights and porosity values of the samples based on their reinforcement ratios are presented in Table 3.

Table 3. Theoretical and experimental specific weights and porosities of samples

Material	%SiCp (by volume)	Theoretical Specific Weight (g/cm ³)	Experimental Specific Weight (g/cm ³)	% Porosity
100% AA5754	-	2.66	2.62	1.5
5% SiCp - 95% AA5754	5	2.69	2.65	1.2
10% SiCp - 90% AA5754	10	2.71	2.68	1.1
15% SiCp - 85% AA5754	15	2.74	2.72	0.8
20% SiCp - 80% AA5754	20	2.77	2.74	1.2

According to the porosity rates given in Table 3 obtained after the squeeze casting process based on the reinforcement ratios that were used; the highest porosity ratio was found as 1.5% in the unreinforced material (0% reinforcement). The porosity ratios of the 5%, 10% and 20% reinforced samples were close to each other.

B. Wear Experiment

Figure 2 displays the change in the friction coefficient of the EN AW 5754/SiCp composites based on their reinforcement ratios. A force of 1 N was applied onto the composite materials that were used in the experiments.

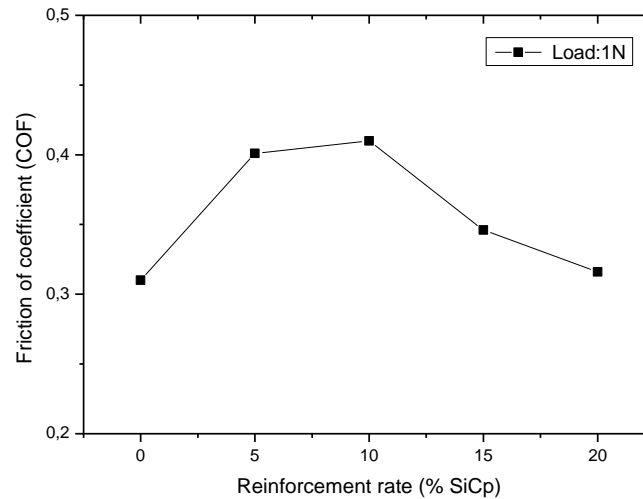


Figure 2. Change in the friction coefficient of the EN AW 5754/SiCp composite based on the reinforcement ratio.

As seen in Figure 2, there was an increase in the friction coefficient up to the reinforcement ratio of 10% SiCp, but this coefficient decreased at the reinforcement ratios of 15% and 20%. While it was expected that the highest friction coefficient would be seen in the unreinforced (0% reinforcement) material, it was found in the 5% and 10% SiCp-reinforced composite materials. As seen in the SEM images in Figure 4, this result may be explained by that the 5% and 10% SiCp reinforcements were not distributed homogeneously in the matrix, while the 15% and 20% reinforcements were homogeneously distributed. Moreover, the finding of the highest friction coefficient in the 5% and 10% SiCp-reinforced composite materials may have been caused by the damage forming on the sample surface during wear.

As seen in Figure 3, the amount of wear increased up to the reinforcement ratio of 10%, it decreased in the 15% reinforced samples and increased again in the 20% reinforced samples. Although the particle size is small, as the particle density increases, the amount of SiCp that the material contacts increases and wear becomes more difficult. Şimşek et al. produced samples by adding 5%, 10%, 15% and 20% SiCp reinforcement into the A356 matrix and subjected the samples to wear tests at 0.2 m/s, under a 15 N load and at a distance of 1500 m. As a result of the wear tests, as the reinforcement ratio increased, the number of particles that were lost from the surface of the sample decreased, and this way, weight loss decreased at higher reinforcement ratios. In the same study, under the same load and for the same sliding distance, the lowest friction coefficient was obtained in the 20% SiCp-reinforced sample [23]. Figure 3 displays the change in the wear amounts of the EN AW 5754/SiCp composites based on their reinforcement ratios.

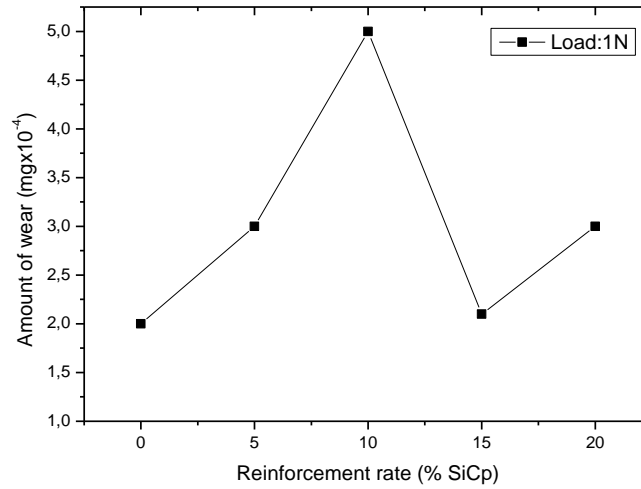
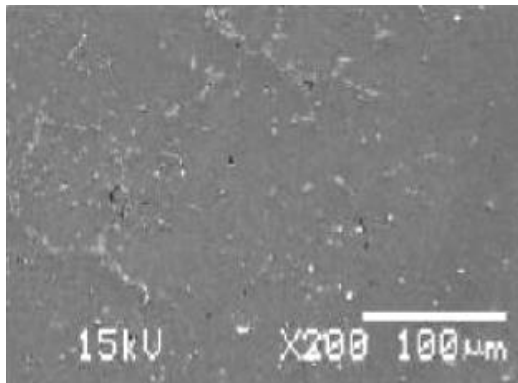


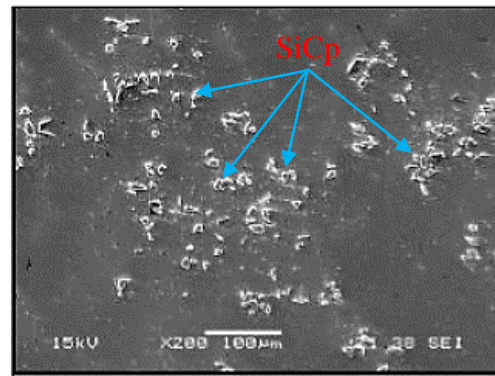
Figure 3. Change in the wear amounts of the EN AW 5754/SiCp composites based on their reinforcement ratios.

C. Microstructure examinations

The microstructural properties of the samples were examined using a JOEL brand JSM-6060 model SEM device. The SEM analysis results shown in Figure 4 demonstrate that the SiCp particles in the composite materials that were obtained in this experimental study were homogeneously distributed within the matrix. The fact that pressure was applied during the production of the samples allowed obtaining a lower porosity rate and close results to the theoretical density. The fact that the volumetric reinforcement ratio increased in the material that was produced with the squeeze casting method did not lead to an increase in porosity. This situation is clearly presented in Table 3. Whether or not homogeneous distribution was achieved in the prepared experimental samples and whether or not porosity and internal structure defects formed were checked by using an optical laboratory microscope and an SEM device with a semi-quantitative elemental analysis system. As a result of the examinations that were made, it was observed that the SiCp particles were homogeneously distributed inside the EN AW 5754 aluminum alloy.



a) AA5754/SiCp composite (vol 0%, x200)



b) AA5754/SiCp composite (vol 5%, x200)

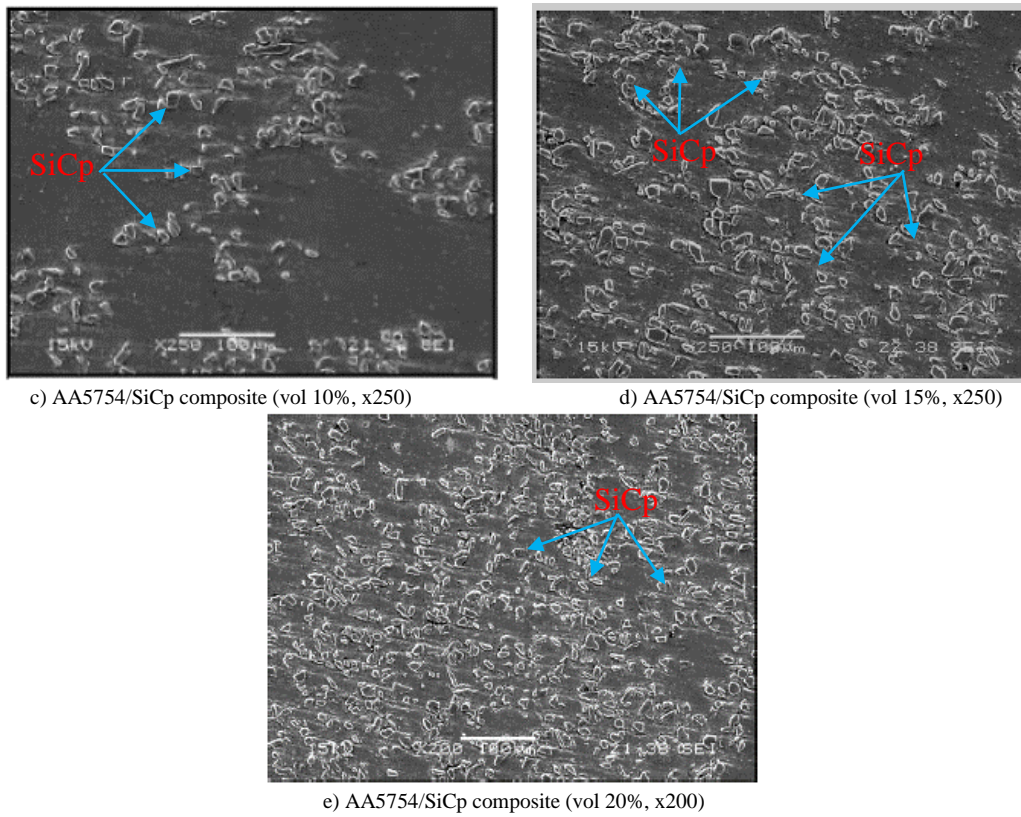


Figure 4. SEM images of EN AW 5754/SiCp composite surfaces before wear test.

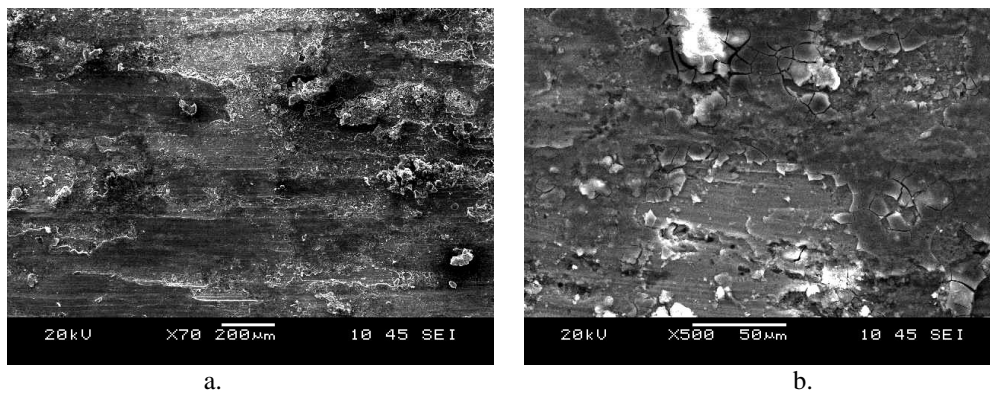


Figure 5. SEM images of unreinforced EN AW 5754 alloy surfaces after wear test a, b.

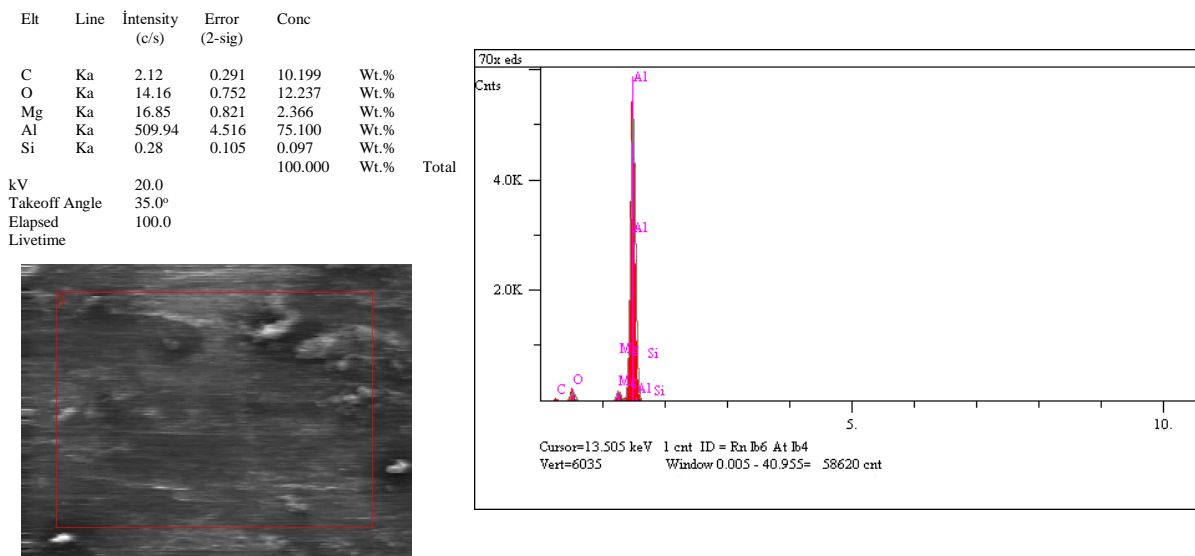


Figure 6. EDS analysis of unreinforced EN AW 5754 alloy after wear test.

The SEM images and EDS images of the surfaces of the unreinforced EN AW 5754 alloy after the wear test under 1 N of force are shown respectively in Figures 5 and 6.

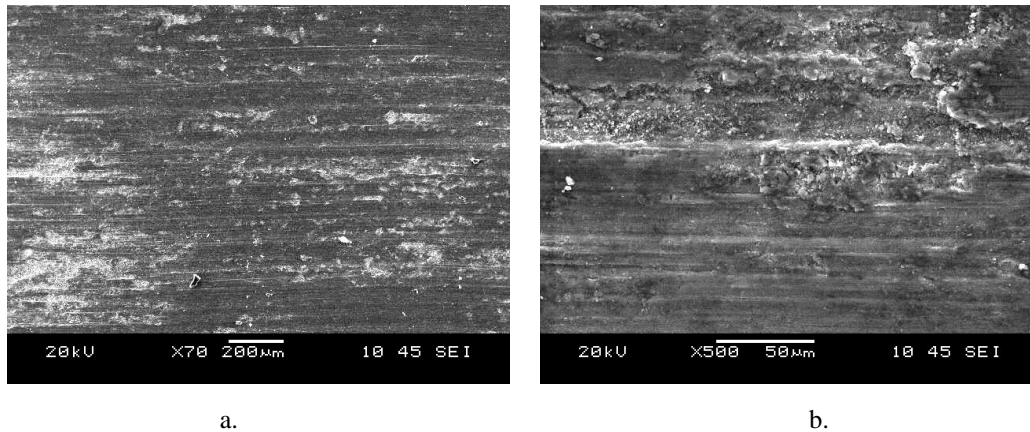


Figure 7. SEM images of 20% reinforced EN AW 5754/SiCp composites after wear test a, b.

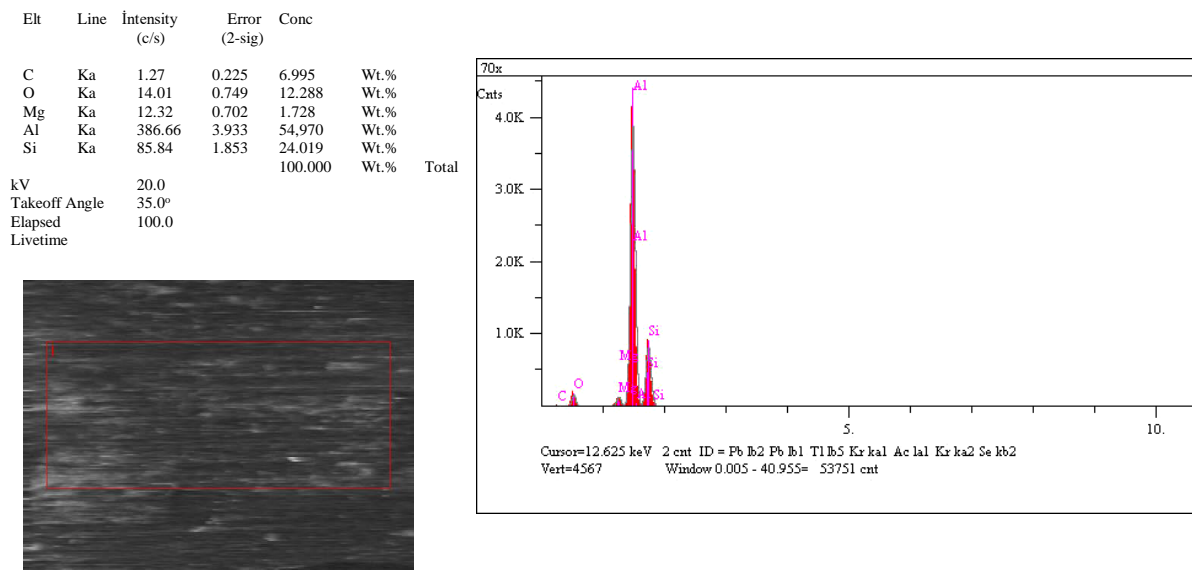


Figure 8. EDS analysis of 20% reinforced EN AW 5754/SiCp composites after wear test

The SEM images and EDS images of the surfaces of the 20% reinforced EN AW 5754/SiCp composites after the wear test under 1 N of force are shown respectively in Figures 7 and 8. The SEM images in Figure 7 demonstrate that new surfaces formed with the effect of the force that was applied.

IV. CONCLUSION

In this experimental study, according to the SEM images, the SiCp particles used as the reinforcement material were surrounded well by the matrix material in the composites produced with different reinforcement ratios using the squeeze casting method, and a mechanical bond was formed between the matrix and the reinforcement. Moreover, the examinations showed that the 5% and 10% SiCp reinforcements did not show a homogeneous distribution inside the matrix, while the 15% and 20% SiCp reinforcements were homogeneously distributed in the matrix.

After the wear experiments, it was observed that the friction coefficient increased from the unreinforced alloy to the 10% reinforced composite, while it decreased in the 15% and 20% reinforced composites. Although it was expected that the highest friction coefficient would be found in the unreinforced (0% SiCp reinforcement) material, it was found in the 5% and 10% SiCp-reinforced composite materials.

The amount of wear increased as the reinforcement ratio increased up to 10%, the highest wear amounts were observed in the 10% SiCp-reinforced composite, these amounts decreased in the 15% SiCp-reinforced composite and increased again in the 20% reinforced composite.

In the examinations of the porosity ratios based on the reinforcement ratios, it was observed that both the porosity ratios and the wear amounts in the 5% and 20% reinforced composites were similar to each other. While the porosity ratios of the 5%, 10% and 20% reinforced composites were similar to each other, the 10% reinforced composite had the highest values of both wear and friction coefficient. It was seen that the 15% reinforced composite had the lowest porosity ratio, and in parallel with this, its wear amount was also low.

REFERENCES

- [1] Şenel, M. C. & Gürbüz, M. (2020). The Effect of Particle Size and Reinforcement Ratio of Al₂O₃ on Mechanical Properties and Microstructure of Aluminum Matrix Composites, *Nigde Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 9(1), 565 – 575.
- [2] Şenel, M. C., Gürbüz, M. & Koç, E. (2017). The Fabrication and Characterization of Graphene Reinforced Aluminum Composites, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23(8), 974-978.
- [3] Gökmeşe, H. & Karadağ, H. B. (2018). Examination of Microstructure and Mechanical Properties of Powder Metal AA 2014-SiC-B4C Composite / Hybrid Materials, *Gazi University Journal of Science Part C*, 6(2), 385-398.

- [4] Tasyurek, M. & Duzcukoglu, H. (2022). Improving the wear behavior of epoxy resin with boron carbide reinforcement, *Iranian Polymer Journal*, 31,169-184
- [5] Şengül, Ö., Şeremet, M. & Kam, M. (2020). Experimental Analysis of Some Thermal and Mechanical Properties of Graphite Reinforced Polypropylene Composite Products for Sustainable Production, *BSEU Journal of Science*, 7(1), 10-20.
- [6] Güneş, A., Salur, E., Aslan, A., Kuntoğlu, M., Giasin, K., Pimenov, D. Y., Düzçükoğlu, H. & Sahin, Ö. S. (2021). Towards Analysis and Optimization for Contact Zone Temperature Changes and Specific Wear Rate of Metal Matrix Composite Materials Produced from Recycled Waste, *Materials*, 14 (18), 1-21.
- [7] Aydın, M. & Yetgin, S. H. (2006). Investigation of the Effect of Different Design Mixer on MMC Production, *Zonguldak Karaelmas University Institute of Science and Technology Journal*, 9 (1), 39 - 46.
- [8] Yakut R. & Ürkmez Taşkın, N. (2019). Production of AA7075/B4C Composite Materials by the Semi-Solid Stirring Method, *European Journal of Technique (EJT)*, 9(2), 230–240.
- [9] Garg, P., Jamwal, A., Kumar, D., Sadasivuni, K. K., Hussain, C. M. & Gupta, P. (2019). Advance Research Progresses in Aluminium Matrixcomposites: Manufacturing & Applications, *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (5), 4924–4939.
- [10] Rosso, M. (2006). Ceramic and Metal Matrix Composites: Routes and Properties, *Journal of Materials Processing Technology*, 175 (1-3), 364–375.
- [11] Ürkmez Taşkın, N. Yakut R. & Alp E. (2020). The Effects of Welding Pressure and Reinforcement Strength on Reduction of Bonded AlMg3/SiCp Composites, *European Journal of Technique (EJT)*, 10 (1), 75–85.
- [12] Çelik, Y. H., Kılıçkap, E. & Yenigün, B. (2018). The Effect of Contact Pressure and B₄C Ratio on Hardness and Wear Behaviours in Al-Matrix Composites Produced by PM Method, *Science and Engineerin Journal of Fırat University*, 30 (1), 33-40.
- [13] Deuis, R. L., Subramanian, C. & Yellup, J. M.(1997).Dry Sliding Wear of Aluminum Composites-A Review, *Composites Science and Technology*, 57(4) 415-435.
- [14] Kılıç C.(2008). *Sıkıştırma Döküm Yöntemi İle Üretilmiş ve Soğuk Haddelenmiş AlMg3/SiCp Kompozitinin Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi*.Master Thesis, Trakya University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Edirne.
- [15] Arıkan R. (2007). Wear Behaviour of ZA-12 Alloy Composites Reinforced With Saffil (δ -Al₂O₃) Fibres, *Journal of Faculty Engineering and Architecture, Gazi University.*, 22 (3), 359-368.
- [16] Buytoz S. & Eren H. (2007). Effect of Particle Reinforcements on Abrasive Wear Performance of Aluminum Metal Matrix Composites, *Science and Engineering Journal of Fırat University* 19 (2), 209-216.
- [17] Thakur, S. K. & Dhindaw B. K. (2001). The Influence of Interfacial Characteristics between SiCp and Mg/Al Metal Matrix on Wear, Coefficient of Friction and Microhardness, *Wear* 247 (2), 191–201.
- [18] Samtaş G. & Korucu S. (2019). Optimization of Cutting Parameters For Surface Roughness in Milling Of Cryogenic Treated EN AW 5754 (AlMg3) Aluminum Alloy, *Journal of Polytechnic*, 22 (3), 665-673.
- [19] Banhart, J. (2001).Manufacture, Characterisation and Application of Cellular Metals and Metal Foams, *Progress in Materials Science*, 46 (6), 559–632.
- [20] Gül F & Acılar M., (2007). Basınçlı İnfiltasyon Yöntemi İle Üretilen Al- SiCp Kompozitlerde Parçacık Boyutunun Abrasif Aşınma Davranışına Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 22 (2), 323-327.
- [21] Ürkmez, N. (2004). *AlMg3 / SiCp Kompozitlerinin Üretimi ve Mekanik Özelliklerdeki Değişimlerin İncelenmesi*.PhD Thesis, Yıldız Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İstanbul.
- [22] Bayar, H., Subaşı, M. & Karataş, Ç. (2015). SiC Takviyeli Alüminyum Alaşım Matrisli Kompozit Malzemenin Yüksek Basınçlı Kalıp Dökümü ve Mekanik Özellikleri, *Gazi University Journal of Science, Part C*. 3 (4), 603-612.
- [23] Şimşek, I., Şimşek, D. & Özyürek, D. (2019). Investigation of Wear Behaviors of Al-SiC Composite Materials Produced by Semi-Solid Process Method, *SETSCI Conference Proceedings*, 4 (1), 545-548.

Araştırma Makalesi - Research Article

Realization of a Dual Axis Solar Tracking System

Çift Eksen Güneş Takip Sistemi Geliştirilmesi

Mustafa Engin Başoğlu^{1*}, Recep Ünsal², Gökhan Çağşiroğlu³

Geliş / Received: 06/09/2021

Revize / Revised: 11/12/2021

Kabul / Accepted: 21/01/2022

ABSTRACT

The effective use of renewable energy sources is very important today. Energy resources are limited and it is necessary to make maximum use of renewable energy. In this study, a dual-axis solar tracking system was implemented in the photovoltaic system in order to obtain the maximum possible energy from solar energy. In the solar tracking system, chestnut material is used as the vertical holder in the mechanical arrangement, and iron is used as the solar panel holder. By using a total of 4 LDRs at 4 corners of the solar panel, Arduino-based solar tracking on vertical and horizontal axis was carried out. The solar panel power used in the system is 45W, a geared DC motor on the horizontal axis and a linear DC motor on the vertical axis. As a result of the implemented application, a system that performs sensitive sun tracking has been realized and higher efficiency has been obtained compared to a static PV system.

Keywords- Solar Energy, Dual Axis Solar Tracking System, Solar Tracker

ÖZ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının efektif kullanımı günümüzde çok önemlidir. Çünkü enerji kaynakları sınırlıdır ve yenilenebilir enerjiden maksimum düzeyde istifade etmek gereklidir. Bu çalışmada güneş enerjisinden olabilecek maksimum enerjiyi elde etmek için fotovoltaik sistemde çift eksenli güneş takip sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Güneş takip sisteminde mekanik düzende dikey tutucu olarak kestamit malzemesi, güneş paneli tutucu ise demir kullanılmıştır. Güneş panelinin 4 köşesinde toplam 4 adet LDR kullanılarak Arduino tabanlı dikey ve yatay eksenle güneş takibi gerçekleştirilmiştir. Sistemde kullanılan güneş paneli gücü 45W olup, yatay eksenle redüktörlü DC motor, dikey eksenle lineer DC motor kullanılmıştır. Gerçekleştirilen uygulama sonucunda hassas güneş takibi yapan bir sistem gerçekleştirilmiş ve statik bir PV sisteme göre daha yüksek verim elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Güneş Enerjisi, Çift Eksen Güneş Takip Sistemi, Güneş Takipçisi

^{1*}Corresponding author contact: menginbasoglu@gumushane.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-6228-4112>)

Department of Electrical and Electronics Engineering, Gümüşhane University, Gümüşhane, Turkey

²Contact: recepunsal33@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-5645-6814>)

Department of Electrical and Electronics Engineering, Gümüşhane University, Gümüşhane, Turkey

³Contact: gokhancagsirli@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-3492-4442>)

Department of Electrical and Electronics Engineering, Gümüşhane University, Gümüşhane, Turkey

I. INTRODUCTION

Today, electrical energy is used effectively in many areas of our lives. Electrical energy, which is in such high demand, can be produced in many different ways as well as being used in many different ways. Until recently, the main mode of production was based on fossil fuels. Since fossil fuels harm both nature and people, the interest in alternative energy sources has constantly increased. The effort to avoid this harm has led people to cleaner, more environmentally friendly and inexhaustible renewable energy sources [1].

Renewable energy sources are sources that are at different levels depending on the location (wind, hydraulic, solar, hydrogen, geothermal, current, wave, tides, etc.), have less CO₂ emissions and harmful effects compared to traditional energy sources. Examples of renewable energy sources are shown in Figure 1 [2].



Figure 1. Examples of renewable energy applications

Many examples of solar tracking systems have been given in the literature. When the examples of applied solar tracking systems are examined in the studies, it has been seen that the solar tracking system can be categorized as single and double axis, as well as active and passive tracking. In [3], it has been confirmed that the azimuth and altitude dual solar tracking approach produces results that are more efficient. On the other hand, from a financial point of view, a single axis solar tracking system is more convenient. In a different review paper [4]; it is mentioned that solar energy is an important renewable energy alternative, but following the sun is a difficult process in terms of efficiency. It has been stated that sun tracking is important especially in systems above a certain power. A review study examining solar tracking system techniques and presenting their advantages and disadvantages is given in [5]. As in other similar studies, it has been explained that solar tracking systems are classified as active, passive, single axis and double axis. In addition, the performance, construction, advantages and disadvantages of all this classification were evaluated. As a result, dual axis active solar tracking has come to the fore to obtain optimum energy. The performance of the dual axis solar tracking system and the fixed solar system was examined in Malaysia in terms of clearness index [6]. Dual axis solar tracking systems offer advantageous results especially in the morning and evening hours. A correlation was obtained with the clear index, which gives accurate results for the estimation of the energy produced. With this study, an important development has been achieved for the estimation of payback time for PV systems to be installed in Malaysia. The performances of static PV system, single axis and dual axis solar tracking systems in Qeshm island of Iran were investigated. The solar radiation data of 2011 were examined and the performances between the systems were compared. According to the results of the analysis, the single axis tracking system produced 35% more energy than the static system. On the other hand, the dual axis solar tracking system produced 4% more energy than the single axis tracking system. Thus, for the Iranian island of Qeshm, a single axis solar tracking system can be seen as a more suitable solution in terms of price/performance ratio [7]. In a study in which a microcontroller-based solar tracking system was carried out, LDRs were used to determine the position of the sun and to position the solar panel appropriately [8]. The motion of the solar panel in the appropriate direction is ensured by the geared DC motor controlled by the AT89S52 microcontroller. Compared to the static PV system, 17.45% more energy was obtained. A sensorless approach is proposed in the dual-axis solar tracking system. In the system with low mechanical construction, the parts of the system were determined according to multiple criteria and the boundary conditions of the system were determined

according to the sun angles. Control process is provided with a programmable logic controller and vertical axis movement is provided with 1° precision [9]. The power that can be obtained from a solar panel depends on the position of the solar panel relative to the sun, and there is an angle of the solar panel that must be optimal for each moment of the day. In [10], a low-cost closed-loop controlled study was carried out with the sun position algorithm. With the sun position algorithm, the position of the sun is determined according to a mathematical formula or astronomical data. In this study, Astronomical Almanac's algorithm was used and according to the results obtained, 13.9% efficiency increase was achieved compared to the fixed PV system and 2.1% compared to optical tracking. In a study examining solar tracker systems [11], four different categorizations were made. The first of these categories is related to open loop or closed loop control operation. The second group is active or passive tracking. In the third category, an evaluation was made in terms of whether the sun tracking was done on a single axis or double axis, and in the last category, an evaluation was made in terms of tracking strategy. A dual-axis solar tracking system application for a 54W solar panel was implemented in Ramadi, Iraq [12]. With the help of microcontroller-based and LDRs, the position of the sun was tried to be estimated and Arduino Uno was used in the application of the sun tracking system realized on a dual axis. In another study, a soft-switched boost converter with maximum power point tracking is proposed [13]. The study in which the solar energy potential is examined for the province of Siirt can be considered as a theoretical study on solar energy [14].

Biaxial active sun tracking systems are the most important approach used to maximize the power to be obtained from the solar panel. In this study, a 45W dual axis solar tracking system was produced that predicts the position of the sun with Arduino Uno based LDR. The rest of the work continues as follows. In the second part, the fundamentals of solar energy are summarized. In the third part, the equipment used in a typical solar tracking system is mentioned. In the fourth chapter, the details of the solar tracking system produced are given. In the last section, the results of the study are presented.

II. SOLAR ENERGY

When the photons coming from the sun to the earth come into contact with the surface of the solar panel, direct current is produced in the panel and voltage is generated. In this way, clean energy is obtained without the emission of harmful gases. Photovoltaic cells are one of the most common ways to generate electrical energy by utilizing the sun. The p-n region in the photovoltaic cells causes separation, that is, a voltage difference, with the contact of the photons. In this way, the cell turns into a small battery. Cells connected in series or in parallel form solar panels. There are two different photovoltaic systems in which the solar panel is the main energy source. These are grid-connected and grid-isolated systems.

Grid-connected systems are based on the principle of using some of the electricity produced and transferring the remaining energy directly to the grid. The energy produced is transferred to the grid by inverters. Grid-connected systems can be installed at different powers for different needs. Off-grid systems are preferred where there is no transmission line or where it is more than 800 meters from the user [15].

III. COMPONENTS OF A TYPICAL SOLAR TRACKING SYSTEM

Solar tracking systems can be examined in two different categories in general. These are systems that move in a single axis and systems that move in a double axis. Dual axis tracking systems; it consists of 2 motors placed under the solar panel, driver circuit, 2 or more LDRs placed on the panel at different points and/or at different angles, battery, regulator and controller. When the necessary software is developed for the system after the necessary mechanical arrangement is established, the system generally works as follows. According to the position of the solar panel, LDRs have a resistance value. These resistance values are transmitted to the microcontroller. The controller sends the appropriate timed commands to the motor driver according to the LDR resistance information it receives, and the solar panel is provided to take the most suitable position according to the sun. Horizontal and vertical movement is performed to give the highest power. In single axis solar tracking systems, this control is performed in horizontal or vertical direction.

A. Solar Panel

The most basic part of the solar tracking system is the solar panel. Solar panels are formed by connecting a large number of cells in series. Solar panels produced based on different material technologies are produced in power levels ranging from 10W to 400W. They have different numbers of bypass diodes in their structures according to the power value.

B. Geared DC Motor

DC motors are machines that work with the effect of electromagnetic field. They can be used in many areas of industry. In order to increase the torque by reducing the speed in DC motors, a gear set is added to the motor shaft and a geared DC motor is obtained. Low speed operation is provided in the geared DC motor and low speeds are obtained for solar tracking systems.

C. Microcontroller Platform - Arduino

Arduino is a platform with different models designed to be used in various electronic projects. Arduino boards have a microcontroller, various circuit elements, and input-output pins for connecting. Arduino provides the necessary signal to the driver ICs for the movement of the motors.

D. Light Dependent Resistor (LDR)

Photoresistors are electronic components whose resistance changes depending on the light intensity. The LDR is made of "cadmium sulfide" (CdS), a semiconductor material that can absorb photons of light. Although LDR is a type of resistor, it is also a passive sensor. LDRs provide an output with varying resistance values in the circuits they are in, but since they perform this process with a physical change they receive from the external environment, they act as a sensor [16].

E. Battery

Batteries are devices that chemically store electrical energy thanks to the electrolyte mixture in their structure. Batteries are needed to energize motors and other electronic equipment that provide motion in a solar tracking system. Since there is usually no space problem in solar tracking systems, types such as lead acid batteries and gel batteries are preferred instead of lithium-based batteries.

F. Battery Charge Controller

Charge controllers transfer the DC energy obtained from the solar panel to the batteries in a controlled manner. Negative effects, such as overheating, burning, explosion in the batteries that may occur during this process, charge regulator overcurrent, etc. prevented by systems such as protection. Charge controllers are generally produced as 12V-24V-48V as they will transfer the energy from solar panels to batteries. Solar panels and batteries, which are commonly used to meet needs such as lighting and television in vineyard houses, are installed as 12 volts, but solar energy systems are preferred at 24 or 48 volts to run more powerful loads such as washing machines and refrigerators [17].

IV. MATERIAL & METHOD

General information about a solar tracking system has been given in the previous sections. In this section, details about the mechanism design, the application steps of the methods followed and the electrical design will be given.

A. Mechanism Design

One of the most important parts of the solar tracking system is the mechanism. Because the electronic devices that make up the system are components that are already present in many fixed solar panel systems and have more or less similar features. It is physically the most important part of the vertical holder mechanism that will carry the necessary case and the motor that will move the panel in order to fix the solar panel securely. Elements such as the physical dimensions, material and length of the part to be placed here change its strength. These factors were taken into consideration while choosing the design and material. A mounting bracket is required to firmly fix the solar panel to the movable mechanism. This apparatus should hold the solar panel from all sides, be as light as possible and have high material strength, and should be capable of holding the photo resistors that must be present in the system. In the design given in Figure 2.a, the part where the LDRs will be placed is on the solar panel mounting apparatus. In addition, the shaft of the linear DC motor, which will move the mechanism on the horizontal axis, is connected to the back of this apparatus. The part that will perform the movement between the vertical holder and the panel mounting apparatus must be small, light and robust. In this context, a piece design was made that has the same dimensions as the main column, is short and can be mounted on the panel mounting apparatus. This design is given in Figure 2.b.

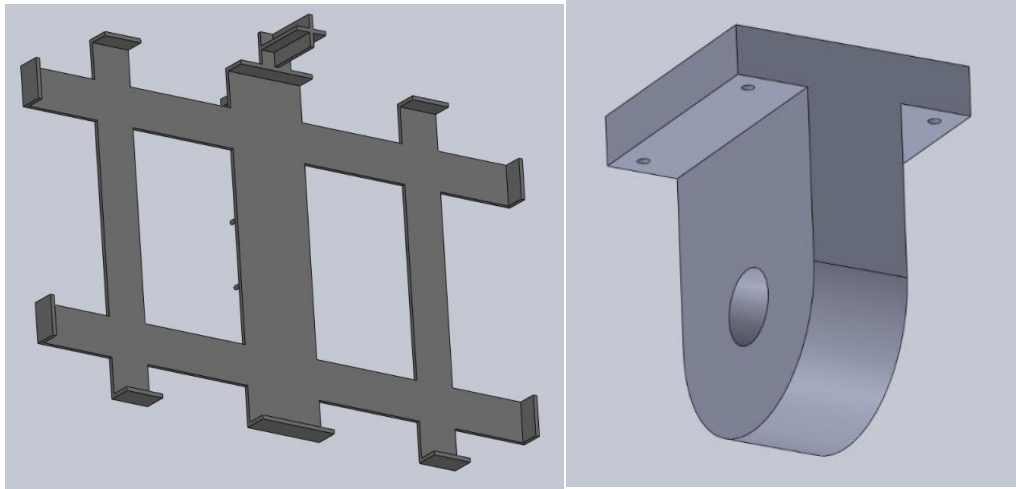


Figure 2. a) Solar panel mounting apparatus b) Movement part between vertical holder and mounting apparatus

After designing the main parts that make up the mechanism, the design was completed by bringing together the other parts (bearing, screw, motor, box, hinge, etc.) in a virtual environment through the Solid Works program. The front and back pictures of the design are given in Figure 3.

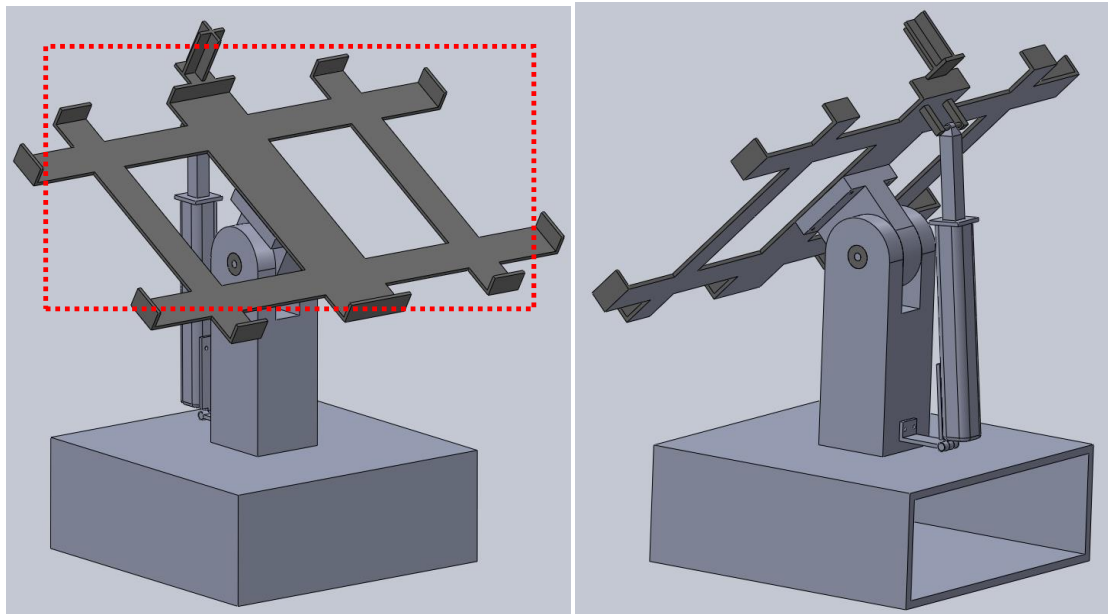


Figure 3.Front and back view of the solar tracking system design

B. Material Selection of the Mechanism

Different materials can be used for the vertical holder, which will carry the load of the mechanism directly. In this context, although aluminum is an important alternative, it has been determined that it is not a suitable material due to its unit price, processing cost and weight. Instead of aluminum, cestamite, which has a lower unit cost, easier to process and lighter material, was chosen for the vertical gripper mechanism. The vertical holder mechanism in the form of a cylinder was obtained by CNC application and is shown in Figure 4.a. Easy to process and good price/performance was decisive in the selection of chestnut. The picture of the part mounted on the vertical holder that provides the movement of the solar panel is given in Figure 4.b. This piece is similarly produced as a result of CNC machining of chestnut.

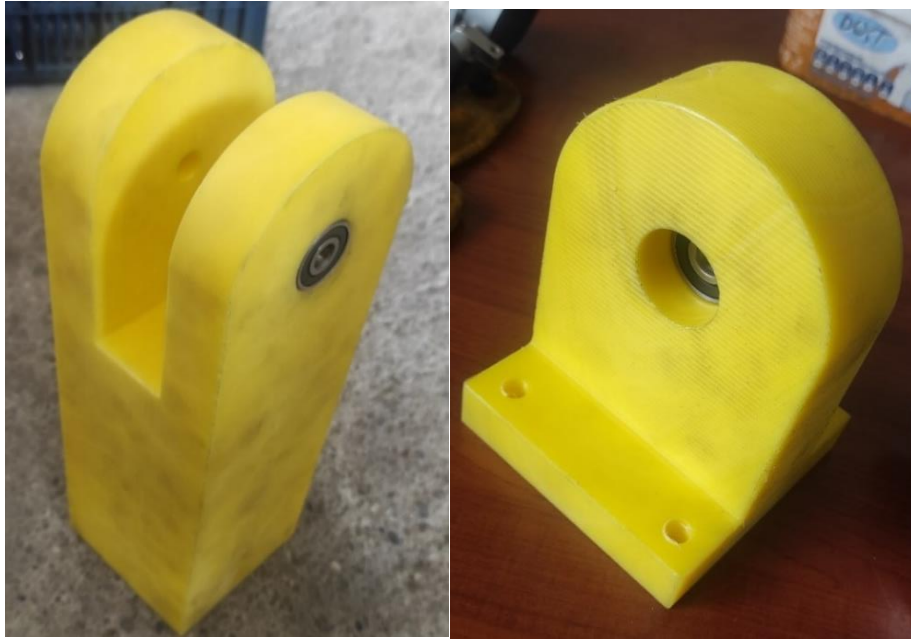


Figure 4. a) Vertical holder made by chestnut (left) b) Movement part of the tracking system (right)

Bearings are placed in the gaps seen in the parts given in Figure X to minimize friction losses. Iron sheet was chosen for the mechanism on which the solar panel will be mounted. While making this choice, it was decisive that the solar panel could show higher resistance to loads such as wind and snow that it could be exposed to. The panel casing produced using iron sheet is given in Figure 5.



Figure 5. Solar panel holder apparatus

C. Electronic Design and Components

After the material selection and design stages of the mechanical design are given, the selection of the electronic equipment that will provide the movement in the system and the remaining part of the production stages will be given in this section. In this study, a solar panel with 45W monocrystalline cell weighing 3.8kg was selected. With the choice of solar panel, two motors that can produce enough power are needed to move the mechanism. Although the use of servomotors is considered first, it has been observed that the servomotors, which have the capacity to produce the torque sufficient for the size of our system, are above the limits we want in terms of both cost and power. As a result of the researches, it has been determined that the desired torque can be obtained with minimum power values by using a geared DC motor. Although servomotors have advantages such as sensitivity and feedback compared to ordinary geared DC motors, the ideal location decision in the solar tracking system will be provided by the photo resistors on the top of the panel. Thanks to the gear reducer structure, the servo motor sensitivity is not needed since the rotation speed will be reduced considerably. In the solar tracking system, 12V 5-rpm L type Geared DC motor is selected for vertical movement. Many different solutions can be

considered, including with a conventional Geared DC motor to provide motion in the horizontal axis. However, since it was determined that connecting the motor directly to the motion center greatly increased the cost and reduced the overall energy efficiency of the project, a 12V linear DC motor with a current of mA and a torque of 200 Nm was preferred. Selected motors are presented in Figure 6.



Figure 6. Geared DC motor (upper) and linear DC motor used in the solar tracking system

A motor driver should be used to control DC motors. With the selected L398N driver, motors can be controlled without damaging the outputs of the microcontroller. The L398N driver board can simultaneously power two different motors and control speed and direction. It has an internal cooler as additional equipment and has overheating and short circuit protections. With 24V/2A output data and related outputs that can feed the Arduino, it is very ideal for the application.

Since the solar tracking system is designed as an off-grid system, battery usage is required. While choosing the battery, the gel battery, which has a long service life and is frequently used in such studies, was preferred in addition to the system requirements. The preferred battery has 12V/24 Ah values. Adding a charge controller to the system, which ensures safe charging of the battery, cuts the power in case of full charge, and provides over-current and short-circuit protection, is an inevitable solution both for system safety and to prevent larger malfunctions that may occur.

Keeping the system active outside of certain hours causes unnecessary energy use. For this reason, it is necessary to follow the sun at a certain angle and then stop the system. Unlike servomotors, the DC motors we use do not have position control. For this reason, the limit button was included in the system. In this way, when the panel reaches the desired angle, it can be stopped and sent to the starting position. In the box included in the lower part of the system in order to ensure system safety, the equipment to be in order and the mechanism to remain in balance; There is a battery, regulator circuit, microcontroller and DC motor that provides vertical movement to the system.

Since the system will stay mostly in sunny places as a working place, the electronic circuit and components in the box are suitable for heating, so the air in this box is cooled by a fan. Of course, it is not logical to add a fan that will consume energy continuously in our project whose aim is efficiency. For this reason, temperature control was made with the LM35 temperature sensor placed in the box, and the fan was enabled to operate only when necessary. 2n2222 NPN type BJT transistor was used for fan motor control. As a result of the production, the final state of the dual axis solar tracking system is given in Figure 7. Block diagram of the electronic

design is presented in Figure 8. Basic version of the control algorithm of the solar tracking system is presented in Figure 9.



Figure 7. Final state of the solar tracking system

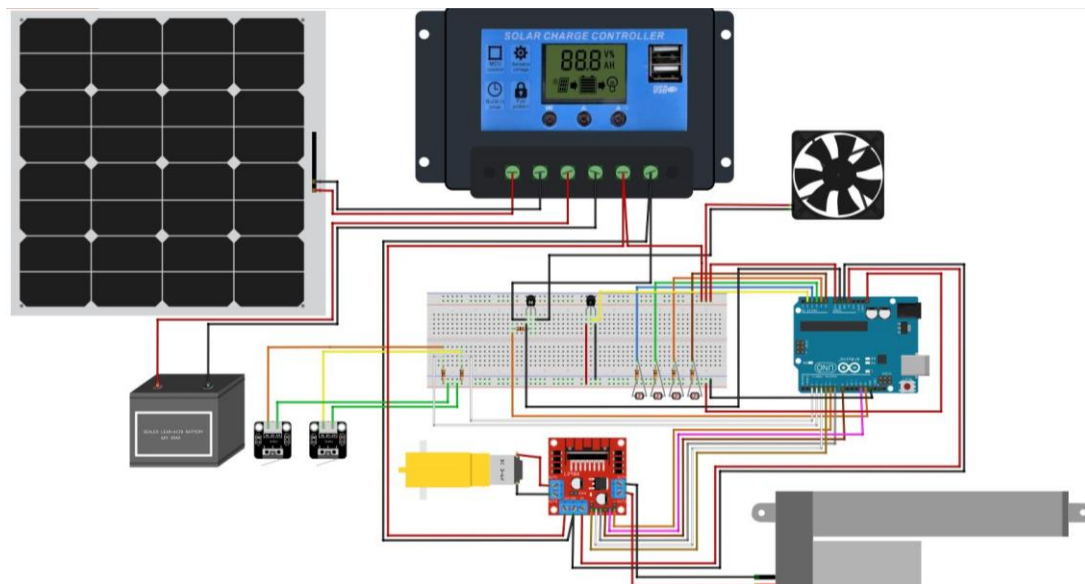


Figure 8. Basic electronic schematic of the solar tracking system

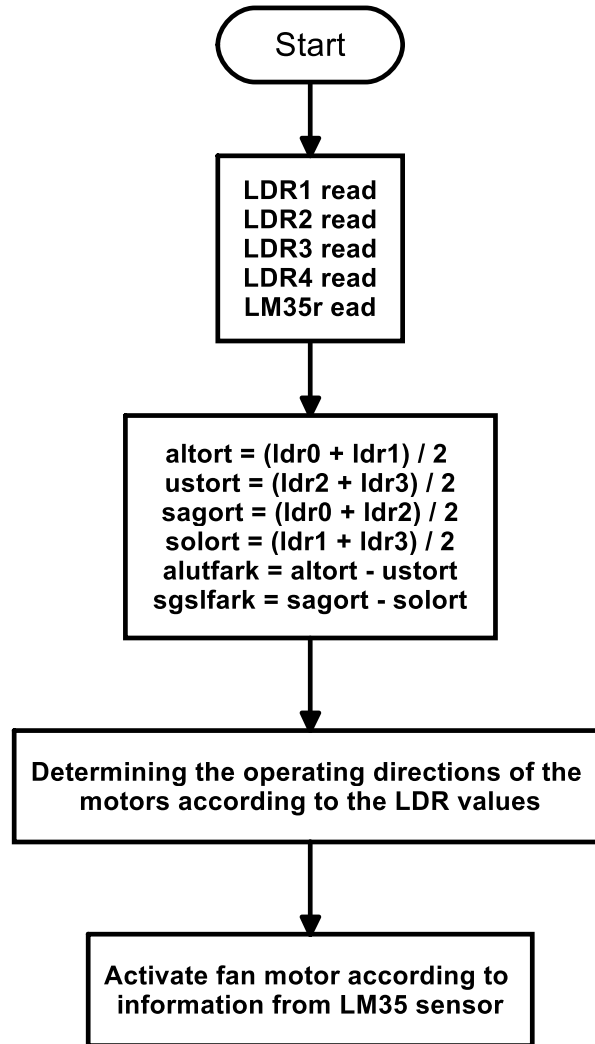


Figure 9. Basic version of the control algorithm

V. CONCLUSIONS

Solar energy is the cleanest, environmentally friendly and alternative energy source today. The working principle of solar tracking systems, which aim to produce electricity from solar energy more efficiently, has been a subject of interest for many years. In this study, Arduino based, dual axis solar tracking system application is presented. Chesttamide and iron were used in the mechanical arrangement of the system, and linear DC motor and geared DC motors were preferred for double-direction movement. In the system, 1° angle sensitivity tracking is provided and more energy is obtained than static PV systems. In further study, improvements in the mechanical construction and electronic tracking will be added to the current tracking system.

REFERENCES

- [1] Başoğlu, M. E., Kazdaloğlu, A., Erfidan, T., Bilgin, M. Z. & Çakır, B., (2015). Performance analyzes of different photovoltaic module technologies under İzmit, Kocaeli climatic conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 357-365.
- [2] Ekolojist.com. (2022). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*. <https://www.ekolojist.com/enerji/yenilenebilir-enerji-kaynaklari/> (Access date: 29.08.2021)
- [3] Racharla S. & Rajan, K. (2017). Solar tracking system - a review. *International Journal of Sustainable Engineering*, 10(2), 72-81.

- [4] Muhammed, J. Y., Jimoh, M. T., Kyari, I. B., Gele, M. A. & Musa I. (2019). A review on solar tracking system: A technique of solar power output enhancement. *Engineering Science*, 4(1), 1-11.
- [5] Amelia, A. R., Irwan, Y. M., Safwati, I., Leow, W. Z., Mat, M. H. & Rahim, M. S. A., (2019). Technologies of solar tracking systems: A review. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 767, 012052.
- [6] Awasthi, A., Shukla, A. K., Manohar, M., Dondariya, C., Shukla, K. N., Porwal, D. & Richhariya, G. (2020). Review on sun tracking technology in solar PV system. *Energy Reports*, 6, 392-405.
- [7] Lee, J. F., Rahim, N. A. & Al-Turki, Y. A. (2013). Performance of dual-axis solar tracker versus static solar system by segmented clearness index in Malaysia. *International Journal of Photoenergy*, 1-14.
- [8] Bazyari, S., Keypour, R., Farhangi, S., Ghaedi, A. & Bazyari, K. (2014). A study on the effects of solar tracking systems on the performance of photovoltaic power plants. *Journal of Power and Energy Engineering*, 2, 718-728.
- [9] Parasnis, N. V. & Tadamalle, A. P. (2016). Automatic solar tracking systems. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 3(1), 1-10.
- [10] Er, Z. & Balcı, E. (2018). Dual axis solar angle tracking system without any sensor. *Journal of Energy Systems*, 2(3), 127-136.
- [11] Chowdhury, M. E. H., Khandakar, A., Hossain, B. & Abouhasera, R. (2019). A low-cost closed-loop solar tracking system based on the sun position algorithm. *Journal of Sensors*, 1-11.
- [12] Al-Jumaili, M. H., Haglan, H. M., Mohammed, M. K. & Eesee, Q. H. (2020). An automatic multi-axis solar tracking system in Ramadi city: design and implementation. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 19(3), 1126-1234.
- [13] Erdoğan Y., Dinçler T., Kuncan M., & Ertunç H. M. (2014). Güneş panelleri için yüksek verimli maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) tasarımı. *Türk Otomatik Kontrol Toplantısı, TOK*, Kocaeli-Türkiye, 1055-1060.
- [14] Bulut N., Kuncan M., & Horoz S. (2018). Türkiye’de güneş enerjisinin kullanım alanları ve Siirt güneş enerji potansiyeli. *Ahtamara 1st International Multidisciplinary Studies Congress*, Gevaş, Van-Türkiye.
- [15] Teknik Solar. (2022). *Off Grid Akülü Sistem (Off Grid)*. <https://www.tekniksolar.com/off-grid-akulu-sistem/> (Access date: 31.08.2021).
- [16] Semiz, T.Y. Robotistan. (2022). *LDR Nedir? Foto Dirençlerin Çalışma Mantığı*. <https://maker.robotistan.com/LDR/> (Access date: 31.08.2021).
- [17] Ekonomik Solar. (2022). *Şarj Regülatörü veya control cihazı nedir, nerelerde kullanılır*. https://www.ekonomiksolar.com/index.php/index.php?route=journal2/blog/post&journal_blog_post_id=3 (Access date: 31.08.2021).

Araştırma Makalesi - Research Article

Determination of Optimum PGPB-Priming Protocol on Germination and Seedling Growth in Lentil

Mercimekte Çimlenme ve Fide Gelişimi Üzerine Optimum PGPB-Priming Protokolünün Belirlenmesi

Murat Erman¹, Fatih Çiğ², Mustafa Ceritoglu^{3*}

Geliş / Received: 06/09/2021

Revize / Revised: 28/11/2021

Kabul / Accepted: 19/01/2022

ABSTRACT

Plant growth promoting bacteria (PGPBs) can be described as bacterial strains increasing water and nutrient uptake, gaining nitrogen and phosphorus to plants by biological nitrogen fixation and phosphate mineralization and promoting plant growth. Besides, PGPB increase stress tolerance due to mechanisms as secretion of various phytohormones, vitamins and growth regulators, restriction of ethylene synthesis with ACC deaminase activity, decreasing of pathogen damage by the secret of antibiotic and fungicidal compounds. This study was carried out in laboratory of Field Crops Department in Siirt University under controlled conditions. The two original PGPB strains (KF3B and KF63C) and five different priming times (control, 1, 2, 4 and 6 hours) were applied on the Fırat-87 lentil variety. The study was laid out in a completely randomized design with three replications. It was aimed with this study that investigating effects based on bacterial biodiversity and priming time on germination characteristics and seedling growth in lentils. According to results, biodiversity-induced differences were observed in germination percentage, seedling fresh weight, seedling dry weight, seedling length and seedling vigor index while priming time significantly affected all investigated parameters except for germination percentage. However, the interaction of strains and priming times did not lead to any significant differences on traits except for seedling dry weight. In conclusion, microbial diversity and priming time have a critical role on successful of the priming technique. Optimum priming time for lentils was determined as four hours. Besides, the strain of KF63C had a noteworthy stimulative effect on especially seedling growth in the experiment.

Keywords- ACC Deaminase, Bacterial Inoculation, Microbial Diversity, Lens Culinaris, Seed Priming

ÖZET

Bitki gelişimini teşvik eden bakteriler (PGPB), su ve besin alımını artıran, biyolojik azot fiksasyonu ve fosfat mineralizasyonu ile bitkilere azot ve fosfor kazandıran, bitki büyümesini teşvik eden bakteri ırkları olarak tanımlanabilir. Ek olarak, PGPB çeşitli fitohormonlar, vitaminler ve büyüme düzenleyici salgılar gibi mekanizmalar sayesinde stres faktörlerine karşı toleransın artırılmasını, ACC deaminaz aktivitesi ile etilen sentezinin kısıtlanmasını, antibiyotik ve fungisidal bileşiklerin sentezi ile patojen hasarının azaltılmasını sağlar. Bu çalışma Siirt Üniversitesi Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarında kontrollü koşullarda yürütülmüştür. Fırat-

**This study was presented as an abstract study in "5th Symposium on Euro Asian Biodiversity (SEAB-2021)" and published in abstract book.*

¹Contact: muraterman@siirt.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-1435-1982>)

Department of Field Crops, Siirt University, Kezer Campus, Siirt, Turkey

²Contact: fatih@siirt.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4042-0566>)

Department of Field Crops, Siirt University, Kezer Campus, Siirt, Turkey

^{3*}Corresponding author contact: ceritoglu@siirt.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4138-4579>)

Department of Field Crops, Siirt University, Kezer Campus, Siirt, Turkey

87 mercimek çeşidine iki orijinal PGPB ırkı (KF3B ve KF63C) ve beş farklı priming süresi (kontrol, 1, 2, 4 ve 6 saat) uygulanmıştır. Araştırma tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak planlanmıştır. Bu çalışma ile mercimeklerde bakteri biyo-çeşitliliğin ve priming süresinin çimlenme özellikleri ve fide gelişimi üzerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Sonuçlara göre, çimlenme yüzdesi, fide yaş ağırlığı, fide kuru ağırlığı, fide uzunluğu ve fide canlılık indeksinde biyo-çeşitlilik kaynaklı farklılıklar gözlenirken, priming süresi çimlenme yüzdesi dışında incelenen tüm parametreleri önemli ölçüde etkilemiştir. Bununla birlikte, bakteri ırkları ve priming sürelerinin interaksyonu fide kuru ağırlığı dışında özellikler üzerinde önemli bir farklılığa yol açmamıştır. Sonuç olarak, priming tekniğinin başarılı olmasında mikrobiyal çeşitlilik ve priming süresi kritik bir role sahiptir. Mercimek için en uygun priming süresi dört saat olarak belirlenmiştir. Ayrıca KF63C ırkı denemede özellikle fide büyümesi üzerinde kayda değer bir uyarıcı etkide bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler- ACC Deaminaz, Bakteri İnokulasyonu, Mikrobiyal Çeşitlilik, *Lens Culinaris*, Tohum Priming

I. INTRODUCTION

Lentil is one of the most consumed foods in the world. Turkey is a major lentil producer country with 430,000 tons of production on 292,000 ha area annually [1]. However, lentil cultivation is generally designed as a dry farming system, therefore, high yield losses occur many times due to drought stress. Although many different methods have been tried to mitigate environmental stress, not only for drought and the other stress factors like salinity, extreme temperatures, nutrient deficiency, etc., seed priming and plant growth promoting bacteria (PGPB) applications have started up due to their sustainable, eco-friendly and cost-effective properties for last decades [2,3].

Indeed, the seed priming technique is based on the exposure of seeds to lower external water potential [5]. Seed priming, which is based on soaking seeds to water or a low osmotic potential of solution pre-sowing, has commonly been used to improve both seed germination and seedling growth, and also protect the plants against environmental stress and pathogens [4]. Several researchers stated that seed priming applications provide faster and more homogeneous germination and improve seedling growth by controlled water up take, activating starch disruption and enzyme actions, ATP synthesis and antioxidant defence systems, thereby, causes increase a stress tolerance to negative environmental conditions [6-8]. Common seed priming techniques are hydro-priming, osmo-priming, halo-priming, nano-priming, thermos-priming, solid matrix priming and bio-priming [9]. Out of them, bio-priming with PGPB strains, which have superior properties like nitrogen fixation, phosphate solubilizing, siderophore and IAA production, ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) deaminase activity, has a special position due to its regulative impacts on biotic and abiotic stress [10]. ACC deaminase activity has a critical role for plant under stress conditions due to its inhibitory impact on the ethylene hormone. Mechanism of ACC deaminase activity bases on hydrolysis of ACC which is the immediate precursor of ethylene hormone, thereby, reduction of ethylene level [11]. Therefore, PGPB strains can improve stress tolerance in plants exhibiting ACC deaminase activity. Moreover, PGPR shaving ACC deaminase activity promote root elongation and growth by reducing root ethylene level [12]. In the bio-priming technique, the secretions produced by the seed create a valuable food and energy source for the bio-control agents, allowing beneficial microorganisms to multiply and colonize the seed surface. This situation also positively affects the water and nutrient uptake of the seed [13]. The superior feature of the bio-priming technique compared to other priming applications is to has a more intense effect on the germination rate and uniformity and supports the suppression of soil and seed-borne pathogens [2]. Bacteria commonly used in bio-priming technique are species belonging to *Trichoderma*, *Enterobacter*, *Pseudomonas* and *Bacillus* genera [14,15]. Bio-priming with PGPB also includes biological fertilizer (nitrogen binder, phosphate and potassium solvent), bio-agent (suppression of disease factors) and plant growth [16-18]. Many researchers have denoted that PGPB-priming applications have positive results on germination, seedling growth and nutrient uptake in eggplant [19], chickpea [7], maize [20, 21], soybean [22] and tomato [23].

The effectiveness of seed priming applications depends on many external factors such as priming technique, material, seed species, ambient temperature, the concentration of priming solution, aeration, osmotic potential of the solution, age of seed, light and priming duration [24-27]. So, this study aimed to determine the most suitable protocol for bio priming with PGPB on lentils.

II. MATERIAL AND METHODS

The Firat-87, which is the most grown red lentil variety in South-eastern Anatolia Region, was used as the material in the study. Seed material was obtained from GAP International Agricultural Research and Training Center (GAPUTAEM). Homogeneous seeds were selected to avoid endosperm effects on the results. Two superior bacterial strains (KF3B and KF63C) from a large-scale collection isolated from rural lands of Southern of Siirt province in the spring season of 2020 were used in the experiment. Soil samples were collected from rhizosphere of superior plants, one gram soil was diluted with 9 ml distilled water, gradual dilution was continued, thereby, bacterial strains were isolated, purified, and stored [28]. Nitrogen fixation, phosphate solubilizing, siderophore production and ACC deaminase activity properties of strains were determined [29-31]. Universal primer was used for the amplification of 16S rDNA gene in all bacterial isolates. Samples were sent to a special laboratory to sequence analysis after the clean-up process [32]. Purified bacterial strains were stored at -86 °C to use in experimental studies. The bacterial properties of KF3B and KF63C were given in Table 1.

Table 1. Species information and bacterial properties such as N₂-fixation, P-solubilizing, ACC deaminase activity and siderophore production of used PGP strains

Code of strains	Species information	N ₂ -fixation	P-solubilizing	ACC Deaminase activity	Siderophore production
KF3B	<i>Paenarthrobacter nitroguajacolicus</i>	+	-	+++	+
KF63C	<i>Paenibacillus xylanilyticus</i>	+	++	++	+

(-: passive, +: active, ++: strong, +++: very strong)

The study was carried out as a petri experiment in Siirt University, Faculty of Agriculture, Field Crops Department Laboratory in 2021. The five different priming duration (control, 1, 2, 4 and 6 hours) were applied with two bacterial strains. Seeds were inoculated with bacterial strains for a few minutes in control groups. Also, there is not a control group for bacterial strains since the study did not aim a comparison between inoculated and non-inoculated seeds. We focused on priming duration with different bacterial strains. The study was laid out in a completely randomized design with three replications. Before starting the experiment, all materials such as petri, forceps were sterilized in the autoclave (HIRAYAMA, HV-110L, Japan) at 121 °C for 20 minutes. Pure cultures of KF3B and KF63C were grown in nutrient agar medium. A single colony from each strain was transferred into a 250 ml Erlenmeyer containing nutrient broth and grown aerobically overnight on a rotating shaker (120 rpm) at 28±2 °C. Strains grown on nutrient broth were diluted with sterile distilled water to a final concentration of 10⁸ CFU ml⁻¹ by turbidimeter [33]. In order to allow bacteria to adhere to the seed surface, 3% of sugar solution was added to the suspension and mixed in a shaker for 30 minutes. Before priming, seeds were subjected to surface sterilization with 10% sodium hypochlorite (NaOCl) + 0.01% Tween20 solution for 10 minutes. After sterilization, the seeds were washed 3 times with distilled water and dried with filter paper. The homogeneous 25 seeds were placed in petri dishes (90mm x 15mm) and bacterial suspensions were added with a seed: solution ratio of 1:4 g ml⁻¹. The petri dishes were placed in an oven set at 24±2 °C (BINDER GmbH, Germany) and kept in the dark for required durations. After bio-priming process, seeds were transferred into filter paper for re-drying to initial moisture content. After this stage, all seeds were sown between 2 layers of filter papers placed in petri dishes as 25 pieces / petri dish. The 4 ml distilled water was added to each petri dish. Petri dishes were kept at 24±2 °C through experiment. The 2 ml distilled water was added to each petri dish every 48 hours until the end of the study. The study was completed on 7th day.

The germination percentage (GP), mean germination time (MGT), germination index (GI) and uniformity of germination (UG) were determined to investigate germination characteristics depending on applications. So, germinated seeds were counted daily up to the end of the experiment. Besides, seedling vigor index (SVI), seedling length (SL), seedling fresh weight (SFW) and seedling dry weight (SDW) were calculated to observe seedling growth. The observations for seedling growth were taken from 10 plants randomly selected from the germinated seeds in each petri dish. Before taking observations about the weight, the seeds were cleared of excess water on the surface with filter paper and immediately weighted with a sensitive scale. Image analysis software was used to obtain more precise measurements for SL. Randomly selected samples were placed on a platform and scanned in colour at 600 dpi resolution by a portable scanner (ISCAN, handheld scanner). Root images were analysed using ImageJ image analysis software [34]. The germination characteristics were calculated by equations given below:

$$GP (\%) = \frac{G7}{N} \times 100 \quad [35] \quad (1)$$

$$MGT (day) = \sum \frac{G \times t}{N} \times 100 \quad [36] \quad (2)$$

$$GI = \sum \frac{G_t}{t} \quad [37] \quad (3)$$

$$UG = \frac{GP}{MGT} \quad [38] \quad (4)$$

$$SVI = GP * SL \quad [39] \quad (5)$$

G_7 is the number of total germinated seeds on the 7th day, N is the number of total sowing seeds, t is the time from sowing to counting day. Data were calculated with analysis of variance in the JMP (5.0.1) according to the completely randomized design. The obtained results were grouped according to TUKEY multivariate test.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The study was conducted to form a protocol for bio-priming with PGPB in lentils so that optimum priming performance can be obtained. The experiment indicated that both germination characteristics and also seedling growth are significantly affected depending on the duration of priming and bacterial strains. According to the analysis of variance, all parameters were affected by bacterial strains and/or priming duration except for the GP. There were statistically significant differences (<0.01 or <0.05) between treatments and interactions of applied factors. In general, priming durations caused more differences in germination characteristics while bacterial strains were more effective on seedling growth. There was not any evidence for the impact of bacterial-priming duration interaction (Table 2).

Table 2. Analysis of variance (ANOVA) for germination characteristics and seedling traits of lentil depending on PGPR-priming and priming durations

	DF	GP		MGT		GI		UG	
		MS	F _{prob.}	MS	F _{prob.}	MS	F _{prob.}	MS	F _{prob.}
Bacteria (B)	1	83.3	ns	0.00005	ns	0.0004	ns	8.4	ns
Time (T)	4	30.4	ns	0.19425	**	0.0396	**	208.7	**
B x T	4	10.4	ns	0.01097	ns	0.0005	ns	8.5	ns
	DF	SFW		SDW		SL		SVI	
Bacteria (B)	1	0.000504	**	0.0000008	*	7.40	**	44313	*
Time (T)	4	0.000288	**	0.0000021	**	4.18	**	44037	**
B x T	4	0.000015	ns	0.0000004	*	0.04	ns	1648	ns

(GP: Germination percentage, MGT: Mean germination time, GI: Germination index, UG: Uniformity of germination, SFW: Seedling fresh weight, SDW: Seedling dry weight, SL: Seedling length, SVI: Seedling vigor index DF: Degree of freedom, MS: Means of square)

The GP, MGT, GI and UG varied depending on priming duration and bacterial strains between 93.3-100.0-93.3, 1.62-2.13 days, 0.49-0.70, 45.9-62.5, respectively. In addition, SVI, SL, SFW and SDW changed between 551-880, 5.70-8.80cm, 0.059-0.083g and 0.0054-0.0075 g, respectively (Table 3). In general, the highest values were obtained from KF63C and 4 hours of priming duration while the lowest ones were observed in control groups. Although bacterial strains did not cause any significant difference in germination traits, seedling growth was affected depending on bacterial strains and their interactions with priming durations. Improving investigated traits increased up to 4 hours priming duration, however, they were adversely affected over 4 hours. Maximum GP (100%) was observed with four hours priming whereas lowest one (94.2%) was obtained by six hours priming. However, there was no significant differences between priming durations in terms of the GP. Although bacterial strains did not significantly affect the GP, KF3B exhibited higher performance. While bacterial strains did not affect the MGT, priming duration significantly reduced (18.4%) germination time. The GI increased with four hours priming from 0.50 to 0.70 compared with control seeds. Similarly, the UG enhanced with four hours priming from 47.2 to 62.2 compared with control seeds. Four hours priming and KF63C improved the SVI. The highest seedling length was obtained from four hours priming duration (8.80cm) in the KF63C bacteria strain. The SFW and SDW were increased with four hours priming as 30.7% and 28.1, respectively. KF63C strain promoted the SDW and dry matter accumulation (Table 3). It was determined that four hours is the threshold value for bio priming applications in lentils. Moreover, the impacts of interaction between bacteria and priming duration were just observed in seedling growth.

Table 3. Means of germination and seedling traits of Firat-87 lentil depending on bio priming applications with KF3B and KF63C bacterial strains and priming durations

Traits	Priming duration	KF3B	KF63C	Mean	Traits	Priming duration	KF3B	KF63C	Mean
GP (%)	Control	93.3	96.7	95.0	MGT (day)	Control	2.00	2.13	2.07 ^A
	1 hour	93.3	98.3	95.8		1 hour	1.95	1.95	1.95 ^{AB}
	2 hours	96.7	98.3	97.5		2 hours	1.87	1.86	1.86 ^{BC}
	4 hours	100.0	100.0	100.0		4 hours	1.62	1.62	1.62 ^D
	6 hours	93.3	95.5	94.2		6 hours	1.77	1.66	1.71 ^{CD}
	Mean	95.3	97.8			Mean	1.84	1.85	
GI	Control	0.51	0.49	0.50 ^D	UG	Control	48.4	45.9	47.2 ^C
	1 hour	0.53	0.54	0.54 ^{CD}		1 hour	50.5	48.1	49.3 ^{BC}
	2 hours	0.59	0.58	0.59 ^{BC}		2 hours	53.6	50.3	51.9 ^{BC}
	4 hours	0.69	0.70	0.70 ^A		4 hours	61.9	62.5	62.2 ^A
	6 hours	0.63	0.67	0.65 ^{AB}		6 hours	54.0	56.3	55.2 ^B
	Mean	0.59	0.60			Mean	53.7	52.6	
SVI	Control	551	673	612 ^C	SL (cm)	Control	5.70	6.95	6.33 ^C
	1 hour	653	696	674 ^{BC}		1 hour	6.63	7.43	7.03 ^{BC}
	2 hours	688	736	712 ^{A-C}		2 hours	6.88	7.88	7.38 ^{A-C}
	4 hours	785	880	832 ^A		4 hours	7.85	8.80	8.32 ^A
	6 hours	737	812	775 ^{AB}		6 hours	7.73	8.69	8.21 ^{AB}
	Mean	683 ^B	760 ^A			Mean	6.96 ^B	7.95 ^A	
SFW (g)	Control	0.059	0.065	0.062 ^C	SDW (g)	Control	0.0060 ^{CD}	0.0054 ^D	0.0057 ^C
	1 hour	0.064	0.072	0.068 ^{BC}		1 hour	0.0058 ^{CD}	0.0062 ^{B-D}	0.0060 ^{BC}
	2 hours	0.065	0.079	0.072 ^B		2 hours	0.0059 ^{CD}	0.0066 ^{A-C}	0.0063 ^{BC}
	4 hours	0.078	0.083	0.081 ^A		4 hours	0.0071 ^{AB}	0.0075 ^A	0.0073 ^A
	6 hours	0.070	0.079	0.074 ^{AB}		6 hours	0.0061 ^{B-D}	0.0067 ^{A-C}	0.0064 ^B
	Mean	0.067 ^B	0.076 ^A			Mean	0.0062 ^B	0.0065 ^A	

(GP: Germination percentage, MGT: Mean germination time, GI: Germination index, UG: Uniformity of germination, SFW: Seedling fresh weight, SDW: Seedling dry weight, SL: Seedling length, SVI: Seedling vigor index)

Although all seed priming techniques provide higher germination traits and seedling growth, improving antioxidant defence systems, bio-priming with PGPB occupies a major position due to superior properties (N fixation, P-solubilizing, ACC deaminase activity, siderophore and IAA production) of used bacterial strains [40,41]. Besides, promotive effects of bio-priming with PGPB are considered to be caused by bio-active substances (gibberellins, auxins, cytokinins, amino acids and vitamins) secreted by used bacterial strains [42]. Many researchers have stated that bio-priming applications with bacterial strains from different species positively affect germination characteristics and seedling growth in wheat [43], maize [44], mung bean [45], soybean [46], common bean [47], pea, lentil, red gram and chickpea [48]. However, information about bio-priming applications in lentils is still limited.

Our results are in agreement with the Meshram and Sharma et al. [48], in which the seeds were soaked in *Trichoderma* solution for 4 hours and seedling vigour index, germination rate, seedling length and root growth improved depending on bio-priming. Similarly, Darabi et al. [49] stated that plant height, root nodules, the number of branches, the number of leaves per plant and grain yield increased depending on bio priming with *Azospirillum* spp. Also, they point out to improve photosynthesis in primed seeds. Pankaj et al. [50] applied bio priming with various bacterial strains on four lentil cultivars and determined that *Azotobacter* formulation and Pant bio-agent-3 noteworthy improved stand establishment, grain yield, vigour index and seed quality. Yadav et al. [51] bio-primed with *Trichoderma*, *Pseudomonas* and *Rhizobium* spp. the chickpea and common bean seeds so that they investigated individual and synergistic impacts of bacterial strains on germination, growth and yield. The study indicated that co-inoculated bio priming with three strains showed higher promotive effects compared with individual applications and it was considered to be caused by synergistic relationships. Ahmad et al. [52] stated that bio priming with PGPB provided to mitigate the salinity stress in mung bean and improved both shoot and

root growth. They reported that bio-priming with bacterial strains that have high ACC deaminase activity exhibited higher promotive performance than the others. It is considered to be caused by differences between growing conditions, in which salinity stress caused ethylene synthesis and restricted growth, therefore, ACC deaminase activity alleviated the stress and exhibited more helpful performance in the study [52]. Although superior traits of bacterial strains did not affect the germination characteristics, significant differences were observed on seedling growth depending on strains in the study. It is considered that production of phytohormones, enzyme activities, nitrogen fixation ability and synergistic root colonization were effective on seedling growth and vigour index [53,54]. KF63C, which has higher P solubilizing capacity, promoted seedling growth. It denotes that P solubilizing in PGPB is an effective mechanism on seedling growth. Many researchers were in agreement this approach [16,18,22,29]. However, there is needed to carry out long-term pot and field studies in which some physiological, biochemical and molecular traits should be observed. So, impacts of ACC deaminase activity and siderophore production on plant growth, grain yield and quality under stress conditions can be observed.

The priming duration has a vital position on priming success and growth indices. Many studies have denoted that germination and seedling growth show differences depending on priming duration [55-57]. Moreover, the optimum duration for seed priming changes with priming technique, species, seed size, ambient temperature and aeration [25, 26]. So, this experiment aimed the optimization of bio-priming duration for lentil seeds, and ultimately four hours exhibited the maximum promotive effects on lentil seeds regardless of bacterial strains (Table 3). It is considered that a higher or lower duration time than four hours could exhibit lower performance due to differences in solution uptake or secreted bio-active substances. The findings of Kokila and Bhaskaran [58] are in agreement with our considerations.

IV. CONCLUSIONS

The study was conducted to form a protocol for bio-priming with PGPB in lentils so that optimum priming performance can be obtained. Germination characteristics and seedling growth parameters were enhanced by seed priming with 1:1 diluted bacterial solution for four hours at 24 ± 2 °C. Although superior traits of bacterial strains did not affect the germination characteristics, significant differences were observed on seedling growth depending on strains. It is considered that IAA production, promoting germination and antioxidant enzyme systems, nitrogen fixation and better root elongation were effective on better seedling development. However, it is also estimated that ACC deaminase activity and siderophore production had no impact due to any stress threatens in the growth ambient. So, there is needed to carry out long-term pot and field studies to understand which traits are important for bio-priming where some physiological, biochemical and molecular traits can be observed under optimum and stress conditions.

REFERENCES

- [1] FAO. (2019). *Lentil production*. Available from: <http://www.faostat.fao.org/beta/en/#data/OA> > (Accessed at: 10.08.2021).
- [2] Reddy, P. P. (2012). *Bio-priming of seeds. Recent advances in crop protection 1st ed.* Springer, New Delhi.
- [3] Prajapati, R., Kataria, S., & Jain, M. (2020). Seed priming for alleviation of heavy metal toxicity in plants: An overview. *Plant Science Today*, 7(3), 308-313.
- [4] Kumar, A., Droby, S., White, J. F., Singh, V. K., Singh, S. K., Zhimo, V. Y., & Biasi, A. (2020). Endophytes and seed priming: agricultural applications and future prospects. *Microbial Endophytes: Functional Biology and Applications*. Elsevier Inc., Switzerland.
- [5] Ceritoglu, M., & Erman, M. (2021). Effect of silicon priming treatments on germination and some agronomic traits in lentil. 3. *International African Conference on Current Studies*, 27-28 February, Abomey-Calavi, Benin, 436-444.
- [6] Sita, K., & Kumar, V. (2020). Role of gamma aminobutyric acid (GABA) against abiotic stress tolerance in legumes: A review. *Plant Physiology Reports*, 25(4), 654-663.
- [7] Ceritoglu, M., & Erman, M. (2020). Mitigation of salinity stress on chickpea germination by salicylic acid priming. *International Journal of Agriculture and Wildlife Science*, 6(3), 582-591.

- [8] Açıkbaş, S., & Özyazıcı, M. A. (2021). Silisyum tohum ön uygulamasının tuz stresine maruz bırakılan yem bezelyesi [*Pisum sativum* ssp. *Arvense* L. (Poir.)]'nin çimlenme gelişimine etkisi. *Middle East International Conference on contemporary Scientific Studies-V*, 27-28 March, Ankara, 148-158.
- [9] Hasanuzzaman, M., & Fotopoulos, V. (2019). *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings 1st ed.* <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1>
- [10] Ahammed, G. J., Gantait, S., Mitra, M., Yang, Y., & Li, X. (2020). Role of ethylene crosstalk in seed germination and early seedling development: A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 151, 124-131.
- [11] Raghuwanshi, R., & Prasad, J. K. (2018). *Perspectives of rhizobacteria with ACC deaminase activity in plant growth under abiotic stress. Root Biology 1st ed.* Springer, Cham.
- [12] Penrose, D. M., & Glick, B. R. (2001). Levels of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) in exudates and extracts of canola seeds treated with plant growth-promoting bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, 47, 368-372.
- [13] Wright, B., Rowse, H. R., & Whipps, J. M. (2003). Application of beneficial microorganisms to seeds during drum priming. *Biocontrol Science and Technology*, 13(6), 599-614.
- [14] Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M., Heier, T., Huckelhoven, R., Neumann, C., & Von-Wettstein, D. (2005). The endophytic fungus *Piriformis indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102, 13386-13391.
- [15] Paparella, S., Araujo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Corbonera, D., & Balestrazzi, A. (2015). Seed priming: State of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports*, 34, 1281-1293.
- [16] Çakmakçı, R., Erman, M., Kotan, R., Çığ, F., Karagöz, K., & Sezen, M. (2010). Growth promotion and yield enhancement of sugar beet and wheat by application of plant growth-promoting rhizobacteria. In: *Proceedings of the International Conference on Organic Agriculture in Scope of Environmental Problems*, 3-7 February, Famagusta, 204-208.
- [17] Erman, M., Kotan, R., Çakmakçı, R., Çığ, F., Karagöz, K. & Sezen, M. (2010). Van Gölü havzasında nizole edilen azot fikseri ve fosfat çözücü bakterilerin buğday ve şeker pancarında büyüme ve verim özellikleri üzerine etkiler. *Türkiye IV. Organik Tarım Sempozyumu*, 28 Haziran-1 Temmuz, Erzurum, 326-330.
- [18] Glick, B. R. (2020). *Beneficial Plant-Bacterial Interactions 2nd ed.* Springer Nature Switzerland, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-13921-0>
- [19] Forti, C., Ottobriano, V., Bassolino, L., Toppino, L., Rotino, G. L., Pagano, A., Macovei, A., & Balestrazzi, A. 2020. Molecular dynamics of pre-germinative metabolism in primed eggplant (*Solanum melongena* L.) seeds. *Horticulture Research*, 7, 87.
- [20] Nawaz, H., Hussain, N., Jamil, M., Yasmeen, A., Bukhari, S. A. H., Aurangzaib, M., & Usman, M. (2020). Seed biopriming mitigates terminal drought stress at reproductive stage of maize by enhancing gas exchange attributes and nutrient uptake. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44, 250-261.
- [21] Singh, S., Singh, U. B., Triverdi, M., Sahu, P. K., Paul, S., Paul, D., & Saxena, A. K. (2020). Seed biopriming with salt-tolerant endophytic *Pseudomonas geniculata*-modulated biochemical responses provide ecological fitness in maize (*Zea mays* L.) grown in saline sodic soil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 253.
- [22] Paul, S., & Rakshit, A. (2021). Effect of seed bio-priming with *Trichoderma viride* strain BHU-2953 for enhancing soil phosphorus solubilization and uptake in soybean (*Glycine max*). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 1041-1052.
- [23] Peixoto da Silva, M. B., Silva, V. N., & Vieira, L. C. (2021). Biopriming of sweet pepper and tomato seeds with *Ascophyllum nodosum*. *Revista Facultad Nacional de Agronomia*, 74(1), 9423-9430.
- [24] Perez-Garcia, F., Pita, J. M., Gonzalez-Benito, M. E., & Iriondo, J. M. (1995). Effects of light, temperature and seed priming on germination of celery seeds (*Apium graveolens* L.). *International Seed Testing Association*, 23(2), 377-383.

- [25] Elkoca, E. (2007). Priming: Ekim öncesi tohum uygulamaları. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 38(1), 113-120.
- [26] Yari, L., Aghaalikani, M., & Khazaei, F. (2010). Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 5(1), 1-6.
- [27] Popovic, V., Ljubicic, N., Kostic, M., Radulovic, M., Blagojevic, D., Ugrenovic, V., Popovic, D., & Ivosevic, B. (2020). Genotype × environment interaction for wheat yield traits suitable for selection in different seed priming conditions. *Plants*, 9(12), 1804.
- [28] Schmidt, E. L., & Belser, L. W. (1982). *Nitrifying bacteria, in methods of soil analysis part 2. Chemical and Microbiological Processes 1st ed.* ASA, Wisconsin.
- [29] Pikovskaya, R. I. (1948). Mobilization of phosphorus in soil in connection with vital activity of some microbial species. *Microbiologiya*, 17, 362-370.
- [30] Li, Z., Chang, S., Lin, L., Li, Y., & An, Q. (2011). A colorimetric assay of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) based on ninhydrin reaction for rapid screening of bacteria containing ACC deaminase. *Letters in Applied Microbiology*, 53, 178-185.
- [31] Vaikuntapu, P. R., Dutta, S., Samudrala, R. B., & Rao, V. R. V. N. (2014). Preferential promotion of *Lycopersicon esculentum* (tomato) growth by plant growth promoting bacteria associated with tomato. *Indian Journal of Microbiology*, 54, 403-412.
- [32] Miller, C. S., Handley, K. M., Wrighton, K. C., Frischkorn, K. R., Thomas, B. C., & Banfield, J. F. (2013). Short-read assembly of full-length 16S amplicons reveals bacterial diversity in subsurface sediments. *PLoS one*, 8(2), e56018.
- [33] Sonkurt, M., & Çiğ, F. (2019). The effect of plant growth-promoting bacteria on the development, yield and yield components of bread (*Triticum aestivum* L.) and durum (*Triticum durum*) wheats. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 3877-3896.
- [34] Ceritoglu, M., Ceritoglu, F., Erman, M., & Bektas, H. (2020). Root system variation of pulse crops at early vegetative stage. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(4), 2182-2197.
- [35] Al-ansari, F., & Ksiksi, T. (2021). A quantitative assessment of germination parameters: The case of *Crotalaria Persica* and *Tephrosia Apollinea*. *The Open Environmental Research Journal*, 9, 13-21.
- [36] Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1981). The quantification of aging and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 9, 373-409.
- [37] AOSA. (1983). *Seed Vigor Testing Handbook*. Association of Official Seed Analysts, Ithaca, New York, USA.
- [38] Noorhosseini, S. A., Jokar, N. K., & Damalas, C. A. (2018). Improving seed germination and early growth of garden cress (*Lepidium sativum*) and Basil (*Ocimum basilicum*) with hydro-priming. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37, 323-334.
- [39] Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13, 630-633.
- [40] Forti, C., Shankar, A., Singh, A., Valestrazzi, A., Prasad, V., & Macovei, A. (2020). Hydropriming and biopriming improve *Medicago truncatula* seed germination and upregulate DNA repair and antioxidant genes. *Genes*, 11(3), 242.
- [41] Nawaz, H., Hussain, N., Ahmed, N., Rehman, H., & Alam, J. (2021). Efficiency of seed bio-priming technique for healthy mung bean productivity under terminal drought stress. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(1), 87-99.
- [42] Afifi, M. H., Manal, F. M., & Gomaa, A. M. (2003). Efficiency of applying biofertilizers to maize crop under different levels of mineral fertilizers. *Annals of Agricultural Science Moshtohor Journal*, 41(4), 1411-1420.

- [43] Fathollahy, S., & Mozaffari, A. (2020). Investigation the effect of seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant enzymes activity of seedling and germination indices of two wheat cultivar under salt stress conditions. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 9(1), 27-44.
- [44] Panuccio, M. R., Chaabani, S., Roula, R., & Muscolo, A. (2018). Bio-priming mitigates detrimental effects of salinity on maize improving antioxidant defense and preserving photosynthetic efficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, 132, 465-474.
- [45] Kumari, P., Meena, M., Gupta, P., Dubey, M. K., Nath, G., & Upadhyay, R. S. (2018). Plant growth promoting rhizobacteria and their biopriming for growth promotion in mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 16, 163-171.
- [46] Arif, M., Jan, M. T., Khan, N. U., Khan, A., Khan, M. J., & Munir, I. (2010). Effect of seed priming on growth parameters of soybean. *Pakistan Journal of Botany*, 42(4), 2803-2812.
- [47] Monalisa, S. P., Beura, J. K., Tarai, R. K., & Naik, M. (2017). Seed quality enhancement through biopriming in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Applied and Natural Science*, 9(3), 1740-1743.
- [48] Meshram, S., & Sarma, B. (2017). Comparative analysis of effects of seed biopriming on growth and development in different Pulses: Pea, lentil, red gram and chickpea. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(10), 2944-2950.
- [49] Darabi, F., Hatami, A., Zarea, M. A., & Naseri, R. (2016). Investigation of important morphological traits and grain yield of lentil under shading and bio-priming. *Iranian Journal of Pulses Research*, 7(1), 145-160.
- [50] Pankaj, K., Deepa, K., Birendra, P., Srinivas, P., & Rejendra, P. (2016). Effect of seed bio-priming on seed quality parameters of lentil under mid Himalayas. *Journal of Hill Agriculture*, 7(2), 195-200.
- [51] Yadav, S. K., Dave, A., Sarkar, A., Singh, H. B., & Sarma, B. K. (2013). Co-inoculated biopriming with *Trichoderma*, *Pseudomonas* and *Rhizobium* improves crop growth in *Cicer arietinum* and *Phaseolus vulgaris*. *International Journal of Agriculture, Environment & Biotechnology*, 6(2), 255-259.
- [52] Ahmad, M. A., Zahir, Z. A., Arghar, H. N., & Arshad, M. (2012). The combined application of rhizobial strains and plant growth promoting rhizobacteria improves growth and productivity of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salt-stressed conditions. *Annals of Microbiology*, 62, 1321-1330.
- [53] Siddiqui, Z. A., Baghel, G., & Akhtar, M. S. (2007). Biocontrol of *Meloidogyne javanica* by *Rhizobium* and plant growth-promoting rhizobacteria on lentil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23, 435-441.
- [54] Kumar, R., & Chandra, K. (2008). Influence of PGPR and PSB on *Rhizobium leguminosarum* Bv. *viciae* strain competition and symbiotic performance in lentil. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(3), 297-301.
- [55] Soughir, M., Aymen, E. M., & Cherif, H. (2012). Effect of NaCl priming duration and concentration on germination behavior of fenugreek. *Albanian Journal of Agricultural Sciences*, 4(11), 193-198.
- [56] Ghasemi-Golezani, K., Jabbarpour-Bonyadi, Z., Shafagh-Kolvanagh, J., & Nikpour-Rasdabad, N. (2013). Effects of water Stress and hydro-priming duration on field performance of lentil. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 2(21), 922-925.
- [57] Musa, M., Singh, A., & Lawal, A. A. (2014). Influence of priming duration on the performance of amaranths (*Amaranthus cruentus* L.) in Sokoto semiarid zone of Nigeria. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Agronomy*, Article ID: 475953, 1-4.
- [58] Kokila, M., & Bhaskaran, M. (2016). Standardization of *Azospirillum* concentration and duration of biopriming for rice and vigor improvement. *International Journal of Agricultural Sciences*, 12(2), 283-287.

Araştırma Makalesi - Research Article

Toz Metalurjisi ile Üretilen Gözenekli TiZr Alaşımının Mekanik Özellikleri ve Biyouyumluluğu Üzerine Sinterleme Sıcaklığının Etkileri

Effects of Sintering Temperature on Mechanical Properties and Biocompatibility of Porous TiZr Alloy Produced by Powder Metallurgy

Mehmet Kaya¹, Ömer Çakmak^{2*}, Abdurrahman Akkuş³, Ebru Elibol Annaç⁴, Mustafa Köm⁵

Geliş / Received: 08/09/2021

Revize / Revised: 23/01/2022

Kabul / Accepted: 15/03/2022

ÖZ

Dünya nüfusunun ortalama yaşam süresi arttıkça implant biyomalzemelerine olan ihtiyaç da artmaktadır. Bu nedenle, bu alandaki araştırmalar son yıllarda artış göstermiştir. Özellikle, gözenekli metaller, ayarlanabilir mekanik ve fiziksel özellikleri ve gözenekli yapısından dolayı implant kemik etkileşimini arttırmıştırdan dolayı daha kullanışlıdır. Bir yenilik olarak, bu çalışmada, sinterleme sıcaklığının Ti-20Zr alaşımlarının mikroyapısı, mekanik ve biyouyumluluk özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Numunelerin mikroyapılarında meydana gelen değişimler ve faz analizi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) ile araştırılmıştır. Basma testi kullanılarak numunelerin mekanik özellikleri ve Sprague Dawley dişi ratlar kullanılarak in vivo biyouyumluluk özellikleri incelenmiştir. Deneysel sonuçlara göre, sinterleme sıcaklığı mikroyapı, mekanik özellikler ve biyouyumluluk üzerinde önemli bir rol oynamıştır. Ayrıca implantasyon bölgesinde herhangi bir toksik veya alerjik reaksiyon görülmemiştir. Bu sonuçlar Ti-20Zr alaşımlarının sert doku için umut verici bir implant olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Anahtar Kelimeler- *TiZr Alaşımları, Gözenekli Biyomalzemeler, Mikroyapı, Biyouyumluluk*

ABSTRACT

As the average life expectancy of the world population increases, the need for implant biomaterials increases. Therefore, research in this area has increased in recent years. In particular, porous metals are more useful due to their controllable mechanical and physical properties and improved implant-bone interaction due to their porous structure. As an innovation, in this study, the effects of sintering temperature on the microstructure, mechanical and biocompatibility properties of Ti-20Zr alloys were investigated. Changes in the microstructure of the samples and phase analysis were investigated by scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD). The

¹İletişim: mehmetkaya75@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-9710-2254>)

Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye

^{2*}Sorumlu yazar iletişim: omercakmak@postech.ac.kr (<https://orcid.org/0000-0001-5983-6783>)

İleri Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü, Pohang Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Pohang, Güney Kore

³İletişim: a.akkus02@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>)

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye

⁴İletişim: ebruelibol55@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-9726-5846>)

Histoloji Bölümü, Adıyaman Üniversitesi Tıp Fakültesi, Adıyaman, Türkiye

⁵İletişim: mkom@firat.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5026-9559>)

Veterinerlik Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

mechanical properties of the samples were investigated by using the compression test and the in vivo biocompatibility properties were investigated by using Sprague Dawley female rats. According to the experimental results, the sintering temperature played an important role in the microstructure, mechanical properties, and biocompatibility. In addition, no toxic or allergic reactions were observed at the implantation site. These results revealed that Ti-20Zr alloys are promising implants for hard tissue.

Keywords- TiZr Alloys, Porous Biomaterials, Microstructure, Biocompatibility

I. GİRİŞ

Biyomalzeme üretiminde birçok malzeme kullanılabilir. Metaller, yüksek mekanik mukavemeti kırılma tokluğu ile birleştirdikleri için seramik ve polimerik malzemelere kıyasla yük taşıma uygulamaları için daha uygundur [1]. En çok kullanılan metalik biyomalzeme türlerinden biri olan Titanyum (Ti) ve alaşımları yüksek korozyon direncine, üstün biyouyumluluğa ve düşük yoğunluğa sahiptir [2]. Periyodik cetvelde Titanyum ve Zirkonyum metalleri aynı gruba aittir. Bu metaller, oda sıcaklığında altıgen sıkı paketlenmiş (hcp) yapıya ve tüm bileşim aralığında tam çözünürlüğe sahiptir. Bu nedenle, Zirkonyumun (Zr) yüksek erime noktası, yüksek korozyon direnci, iyi mekanik özellikler ve mükemmel biyouyumluluk gibi bazı özellikleri Ti'ye benzerdir [3-5]. Ayrıca, implante edildiklerinde Zr, Ti ve alaşımlarının inertliği onları cerrahi aletler, kemik ve diş implantları gibi biyomedikal uygulamalar için uygun aday malzemeler yapar [6-9]. Malzeme tasarımına odaklanan birkaç çalışma, Zr implantlarındaki kemik-implant malzeme uyumunun Ti implantlara kıyasla daha yüksek olduğunu göstermiştir [10,11]. Bununla birlikte, titanyum ve toksik olmayan elementlere dayalı uzun ömürlü implantların kullanımı hala ciddi sorunlardan birini barındırmaktadır. Doğal kemik ile implant arasındaki mekanik özellik uyumsuzluğunun doku hasarına ve implantın erken başarısızlığına neden olduğu bildirilmiştir [12].

Toz metalurjisi (TM) yöntemi kullanılarak Ti-esaslı alaşımların üretilmesi titanyumun yüksek üretim maliyetini çeşitli yönlerden önemli ölçüde azaltabilmektedir. Ayrıca, TM'nin net şekle yakın yönü, son işleme ihtiyacını en aza indirir veya ortadan kaldırmaktadır. Alaşımların yapısında oluşan gözeneklerin alaşımın elastik modülünü azaltması ve doku hücrelerinin gözeneklere yerleşmesini sağlayarak implant ile doku arasında iyi bir bağ oluşturması sebebiyle son zamanlarda gözenekli yapıya sahip Ti alaşımlarının TM yöntemi ile üretilmesi çekici bir hal almıştır. Ti-esaslı alaşımlar, metal enjeksiyonlu kalıplama, mikrodalga sinterleme (MWS), kıvılcım-plazma sinterleme ve geleneksel sinterleme gibi çeşitli TM yöntemleriyle üretilmektedir. Geleneksel sinterleme tekniği, gelişmiş difüzyon süreci, kontrol edilebilir mekanik ve fiziksel özellikleri ve düşük işleme maliyeti nedeniyle malzeme üretiminde tercih edilmektedir. Bu teknik yüksek sıcaklıklarda kontaminasyon potansiyelini de azaltmaktadır [13-16]. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada TM yöntemlerinden geleneksel sinterleme tercih edilmiştir. Gözenekli Ti-20Zr (at. % olarak %20 Zr içeren TiZr alaşımı) alaşımları, yük taşıma koşulları altında gelişmiş ortopedik implantlar için çekici bir alternatif olabilir. Bu motivasyonla, bu çalışmada sinterleme sıcaklığının mikroyapı, mekanik ve biyouyumluluk özelliklerine etkisini araştırmak için toz metalurjisi yöntemiyle farklı porozite oranlarına sahip Ti-20Zr alaşımları üretilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. TiZr Alaşımlarının Üretimi

Ti-20Zr (% at.) alaşımı toz metalurjisi yöntemlerinden geleneksel sinterleme ile hazırlandı. Üretimde yüksek saflıkta Titanyum (Ti) (safılık: %99,5 ve toz boyutu; 44 µm) ve Zirkonyum (Zr) (safılık: %99,9 ve toz boyutu; 44 µm) ham metal tozları kullanılmıştır. İlk olarak, tozlar tartıldı ve ardından dönen bir kapta 24 dev/dk ve 12 saat karıştırıldı. Gözenekli bir yapıya sahip numuneleri imal etmek için, karıştırılmış Ti-20Zr (% at.) alaşım tozuna ağırlıkça %30 amonyum bikarbonat (NH₄HCO₃) ilave edildi. Karışım, 300 MPa altında 10 mm çapında ve yaklaşık 15 mm uzunluğunda silindirik şeklindeki kalıp yardımıyla preslendi. Daha sonra numuneler için iki aşamalı sinterleme yapıldı. Birinci aşamada, briketlenmiş numuneler (figure 1(a)), amonyum bikarbonat yakılarak çok gözenekli bir yapı oluşturmak için 180 °C'de 2 saat bekletilmiştir. İkinci aşamada numuneler (figure 1(b)) argon atmosferinde 1200 °C ve 1400 °C'de 5 °C/dk ile ısıtılmış ve 2 saat tutulmuştur. Sinterlenmiş numunelerin gözenekliliğini hesaplamak için denklem 1 ve 2'de belirtilen formüller kullanıldı [17].

$$\rho_o = \frac{m_{Ti} + m_{Nb} + m_{Sn}}{V_{Ti} + V_{Nb} + V_{Sn}} \text{ and } \rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \left(1 - \left(1 - \frac{\rho}{\rho_o}\right)\right) * 100 \quad (2)$$

m = kütle (gr)

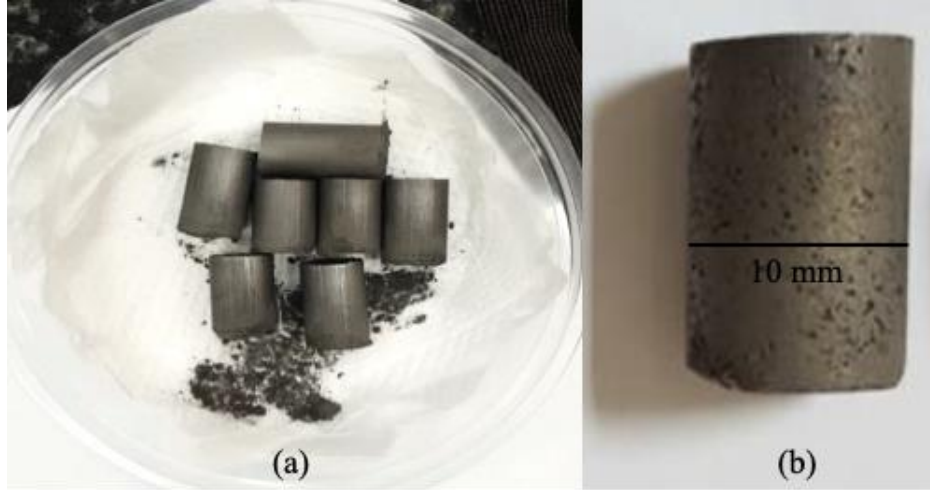
v = hacim (cm^3)

ρ = yoğunluk (gr/cm^3)

ε = gözenek miktarı (%)

ρ = ölçülen yoğunluk (gr/cm^3)

ρ_0 = teorik yoğunluk (gr/cm^3)



Şekil 1. Ti20Zr alaşımına ait briketlenmiş ham numuneler (a) ve 1200 °C sinterlenmiş çok gözenekli numune örneği (b).

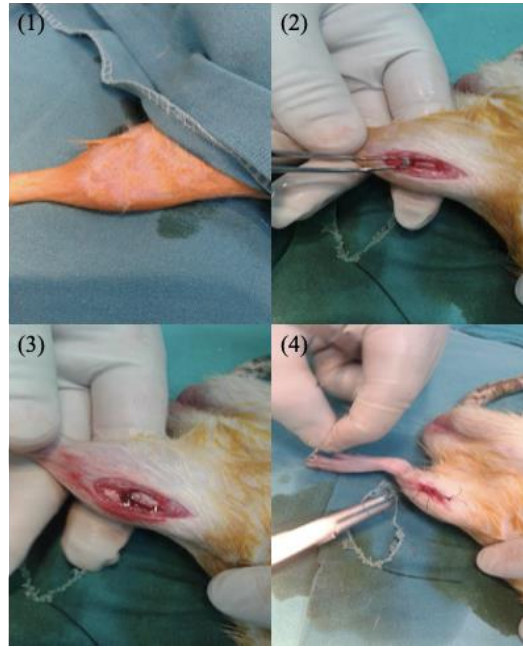
B. Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerin Araştırılması

Mikroyapısal özellikler, taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Röntec EDO-donanımlı Evo-40Vp) kullanılarak analiz edildi. SEM analizi için numuneler, yaklaşık 6 saniye boyunca Kroll solüsyonu (3 mL HF, 6 mL HNO₃ ve 91 mL H₂O) kullanılarak dağlama işlemi yapıldı. Numunelerin faz analizleri, X-ışını kırınım yöntemi (XRD) (Rigaku Rad-B D-Max 2000) ile Cu-K α radyasyonu kullanılarak ve 30°'den 80°'ye 6° dak⁻¹'lik bir adım hızıyla tarama yapıldı. Basma testi için 10 mm çapında ve yaklaşık 15 mm uzunluğunda numuneler kullanıldı (Şekil 1 (b)). Basma deney numuneleri EN 24506 standardına göre hazırlandı. Bu testler, Instron test makinesi ile oda sıcaklığında 0,1 mm/dk sabit hızda gerçekleştirildi.

C. Hayvan Deneyleri

Üretilen Ti-20Zr örneklerinin biyoyumluluk özelliklerinin incelenmesi için etik kurul raporu (2016/90) hazırlanmış ve Fırat Üniversitesi Deney Hayvanları Araştırma Merkezi'nden hayvan deneyleri için etik kurul onayı (Toplantı Tarihi: 24/04/2017, Toplantı Sayısı 2017/18, Karar No: 103, Protokol No: 2016/90) alınmıştır. Biyoyumluluk testleri için 6 aylık ve yaklaşık 300 gr ağırlığında on iki Sprague Dawley dişi rat kullanıldı. Deney hayvanlarının sol arka bacaklarının kemik dokusuna yaklaşık 2x1 mm boyutlarında ve 30 mg ağırlığında silindirik şekilli gözenekli Ti-20 Zr numuneleri yerleştirildi. Bu çalışmada biyoyumluluk testleri için köpek, tavşan ve keçi gibi diğer deney hayvanları yerine sıçanlar tercih edildi. Bunun nedeni, sıçanlar üzerinde yapılan deneysel çalışmaların daha az zaman alması ve daha az implant malzemesi kullanımı gerektirmesidir [17].

Anestezi işlemi için 1.5 ml/10 kg dozda Rompun (Bayer, Xylazine hydrochloride 23,32 mg/ml) ve yaklaşık 5 dakika sonra 1.5 ml/10 kg intramüsküler Ketal (Park-Davis Ketamine hydrochloride 50 mg/ml) ilaçları ameliyattan önce hayvanlara enjekte edildi. İmplantasyon için sol arka bacağın kaval kemiği seçildi ve ardından deri ve deri altı dokusu kesildi. Daha sonra periost yaklaşık 2 cm uzunluğunda açıldı ve kemik korteksi 2.7 mm Steinman iğnesi ile delindi. Delme işlemi sırasında bacağına zarar vermemek için serum kemiğe sıkıldı. İmplantasyon öncesi implantlar serum, aseton ve alkol ile temizlendi. İmplantasyon sonrası cerrahi fayda, kaslar ve cilt altı bağ dokusu 2/0 kromik katgüt ile kapatıldı ve son olarak 1 numaralı ipek ip ile cilt dikildi. İmplantasyon sürecinin aşamaları Şekil 2'de gösterilmiştir. İmplantasyon işleminin ardından hayvanlara 3 gün boyunca 20 mg/kg sefazolin sodyum (sefamezin 500 mg; Eczacıbaşı) antibiyotik ve 3 mg/kg ketoprofen (profenid 100 mg; Eczacıbaşı) analjezi profilaksisi enjekte edildi. Bacaklarına implant yerleştirilen hayvanlar ağrı kesici ve antibiyotik ilaçları kullanılarak 45 gün boyunca kontrol altında tutuldu. 45 günlük sürenin ardından hayvanlara ötenazi uygulandı ve implantların yerleştirildiği alanlar cerrahi işlemle dikkatlice çıkarıldı. Greftin uygulandığı bölgeyi içine alacak şekilde tibiadan kemik parçası çıkarıldı ve koruma için bir formaldehit solüsyonuna (%10) yerleştirildi.



Şekil 2. İmplant materyalinin rat bacağına uygulanma aşamaları.

D. Histopatolojik Analiz

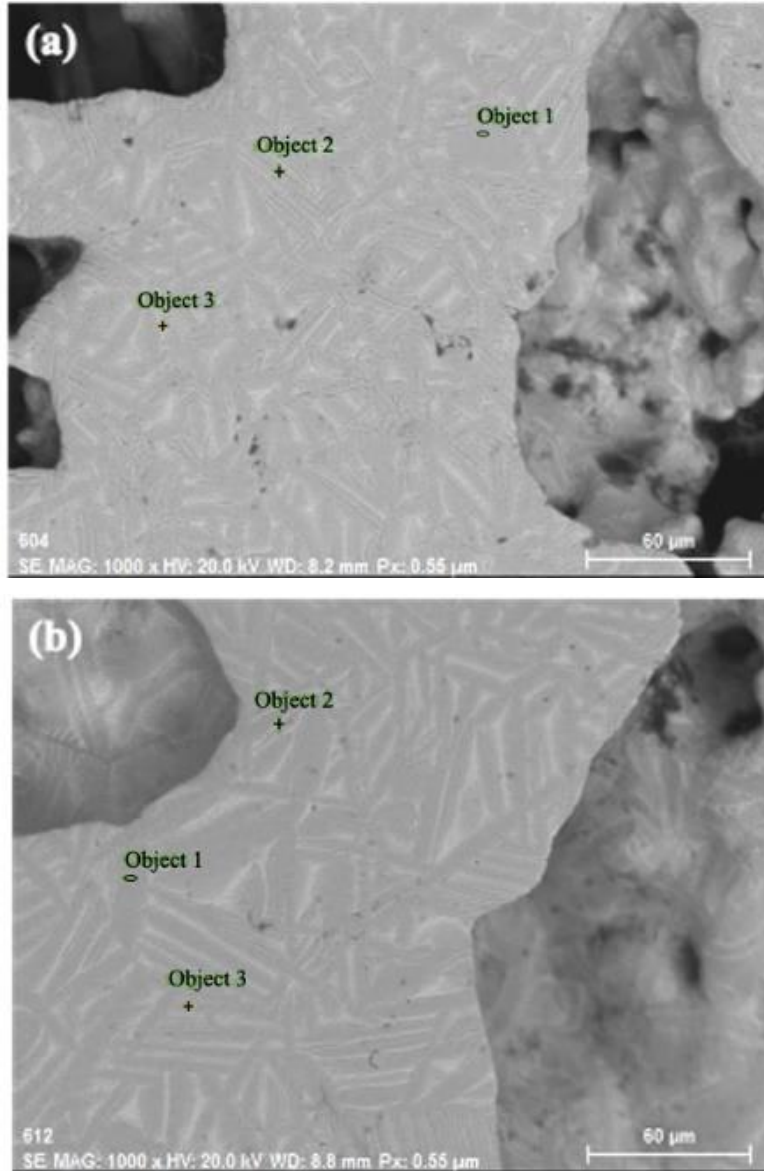
İmplant uygulanan kemik dokudan alınan numunelere ait histopatolojik incelemeler Adıyaman Üniversitesi Tıp Fakültesi Histoloji ve Embriyoloji A.D. laboratuvarında yapıldı. Sakrifiye edilen ratlardan alınan kemik örnekleri diseke edildikten sonra kimyasal tespit için %10'luk nötral formaldehitte 3 gün bekletildi. Dekalsifikasyon işlemi için %20'lik formik asit ve hidroklorik asit karışımından oluşan solüsyona alındı. Her 2 günde bir solüsyon yenilenirken, her gün dekalsifikasyon işleminin tamamlanıp tamamlandığı bir toplu iğne batırılarak kontrol edildi. Dekalsifiye olan kemik dokular, 12 saatlik yıkama periyodunun ardından dehidratasyon ve saydamlaştırma işlemleri yapılarak parafin bloklara gömüldü. Parafin bloklardan 5 µm kalınlığında alınan kesitler Hematoksilen-Eosin ve Masson-Goldner Trichrome boyaları ile boyandı. İncelemeye hazır hale gelen kesitler kamera ataçmanlı ışık mikroskobu (Carl Zeiss marka Axiocam ERc5) altında incelenerek ilgili gruplara ait farklı büyüklükte fotoğraflar çekildi. Daha sonra fotoğraflar üzerinde histopatolojik inceleme yapıldı. Bu değerlendirmede dokudaki perifer alanlarda yeni kemik doku yapımı, damarlanma oranında artış ya da azalma, kollajen lifler ve fibroblast hücrelerinin yoğun olarak bulunduğu bağ doku alanları ile kemik gövdeleri çevresindeki osteoblastik hücre aktivitesi değerlendirildi [18,19].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı sinterleme sıcaklıkları ile üretilen Ti-20Zr alaşımlarının mikromorfolojisi Şekil 3(a) ve (b)'de gösterildiği gibi SEM kullanılarak incelenmiştir. Yapının gözenekliliği ((a) %40,40 ve (b) %37,86)ve homojenliği üzerinde sinterleme sıcaklığının önemli bir rol oynadığı açıkça görülmektedir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça, daha mojen bir yapı oluşmuştur. Bunun sebebi, gözenek oranının azalmasıyla difüzyonun daha kolay gerçekleşmesidir. Görsellere detaylı bakıldığında martensitik fazın mikroyapısına benzer şekilde gri lamel(Şekil 3(a) Object 2)ve beyaz iğnemsiz fazların(Şekil 3(b) Object 2) varlığı görülmektedir. Li ve ark., [20] tarafından yayınlanan "Shapememorybehavior in Ti-Zralloys" isimli çalışmada TEM (Transmission Electron Microscopy) cihazı kullanılarak daha yüksek büyütmelerde benzer martensitik yapının daha net görüntüleri elde edilmiştir. Ayrıca sinterleme sıcaklığı arttıkça lamel ve iğnemsiz yapının arttığı ve incelendiği görülmektedir. Benzer sonuçlar Wang ve ark., [21] tarafından Ti-xZr (x=5, 15, 25, 35, 45 wt%) oranlarında toz metalurjisi yöntemiyle üretilen 1200 °C-2h numuneleri için de belirtilmiştir.

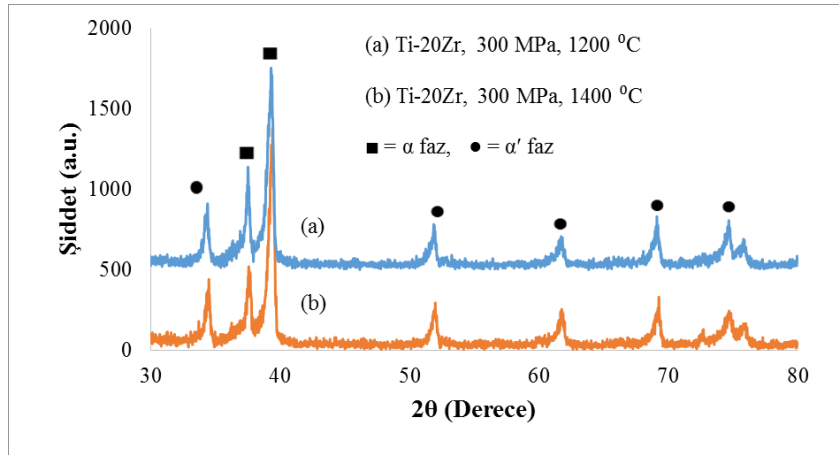
EDX sonucuna göre gri lamel bölgelerinin Ti bakımından zengin olduğu ve ayrıca beyaz iğnemsiz bölgelerde Zr oranının gri lamelli bölgelere göre daha yüksek olduğu görüldü. Bölgeler arasındaki farklı Ti ve Zr oranlarındaki farklılığın ana nedeni, sinterleme sıcaklığının (1200 °C ve 1400 °C), Zr'nin (1852 °C) erime noktasının çok altında olması ve dolayısıyla yetersiz difüzyona yol açmasıdır. 1200 °C sinterleme sıcaklığına sahip numunenin (Şekil 2a) mikroyapılarında, object 1 (gri lamel) ve object 3'ün (beyaz iğne benzeri) atomik bileşimleri

Ti- 18.36Zr (% at.) ve Ti- 26.39Zr (% at.)'dir. Öte yandan, 1400 °C sinterlenmiş numuneler için bu oranlar (Şekil 2b) Ti- 13.38Zr (% at.) ve Ti- 18.57Zr (% at.)'dir. Ek olarak, nesne 3, hem şekil 1 hem de şekil 2 için benzer değerlere sahiptir. Sonuçlar, mikro yapıların esas olarak iki tip faz sergilediğini göstermektedir. Gri lamel bölgesi α -fazlarına aitken, iğne benzeri yapılar α' -fazlarıdır.



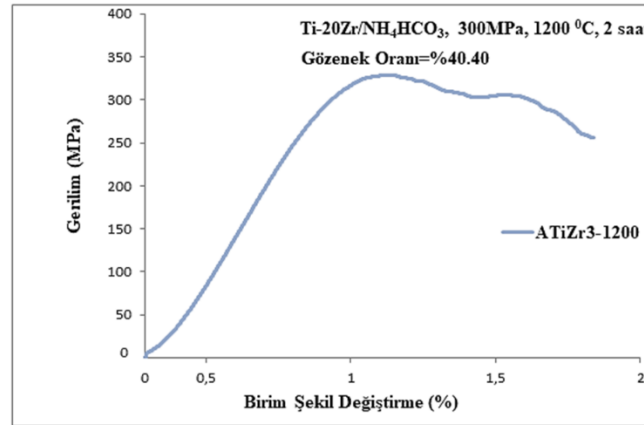
Şekil 3. 2 saat sinterlenmiş Ti-20Zr'nin SEM mikrografları, 1200 °C (a), 1400 °C (b).

Şekil 4, farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş ikili Ti-20Zr alaşımlarının XRD faz analiz modellerini göstermektedir. XRD desenlerinden baskın hcp α -fazının yanı sıra hcp α' -fazının da bulunduğu görülmektedir. Wang ve ark., [21], toz metalurjisi yöntemiyle üretilen Ti-xZr (x=5, 15, 25, 35, 45 wt) numunelerinde benzer XRD modellerinin varlığını bildirmiştir. Ek olarak, sinterleme sıcaklığının artmasıyla pik yoğunluk oranı artmaktadır. Bu gözlem, yapının kristalleşme özelliğinin artan sıcaklıkla arttığını göstermektedir. Ayrıca bu sonuç SEM mikrograflarından da anlaşılmaktadır.

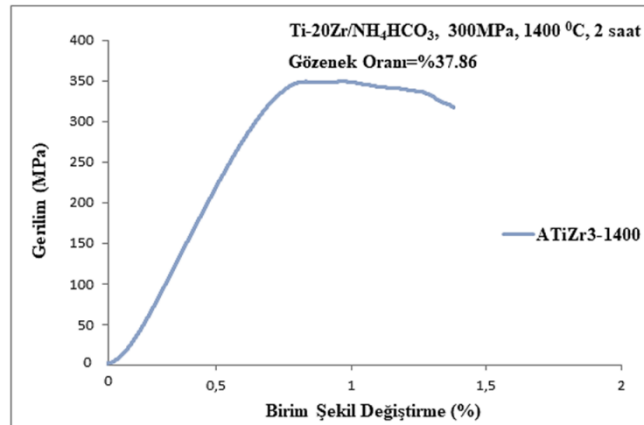


Şekil 4. 2 saat sinterlenen Ti-20Zr numunelerinin X-ışını kırınım desenleri, 1200 °C (a), 1400 °C (b)

Şekil 5 (a) ve (b), sinterleme sıcaklığına göre alaşımların gerilim-birim şekil değiştirme eğrilerini göstermektedir. Sinterleme sıcaklığının artmasıyla hem dayanımın hem de elastik modülün belirgin bir şekilde artmasına rağmen, birim şekil değişiminin azaldığı görülmektedir. Bu olayın en önemli nedeni, sinterleme sıcaklığının artmasıyla yapıdaki gözenek oranının azalmasıdır [22]. Numunelerdeki gözeneklilik oranı, artan sinterleme sıcaklığı ile %40,40'tan %37,86'ya düşmüştür. 1200 °C'de 2 saat ve 1400 °C'de 2 saat sinterlenen numunelerin basma dayanımı ve birim şekil değiştirme değerleri sırasıyla %1,8'de 326 MPa ve %1,4'te 347 MPa'dır. Ayrıca, bu numunelerin elastisite modülleri sırasıyla 53.1 GPa ve 60.3 GPa'dır.



(a)

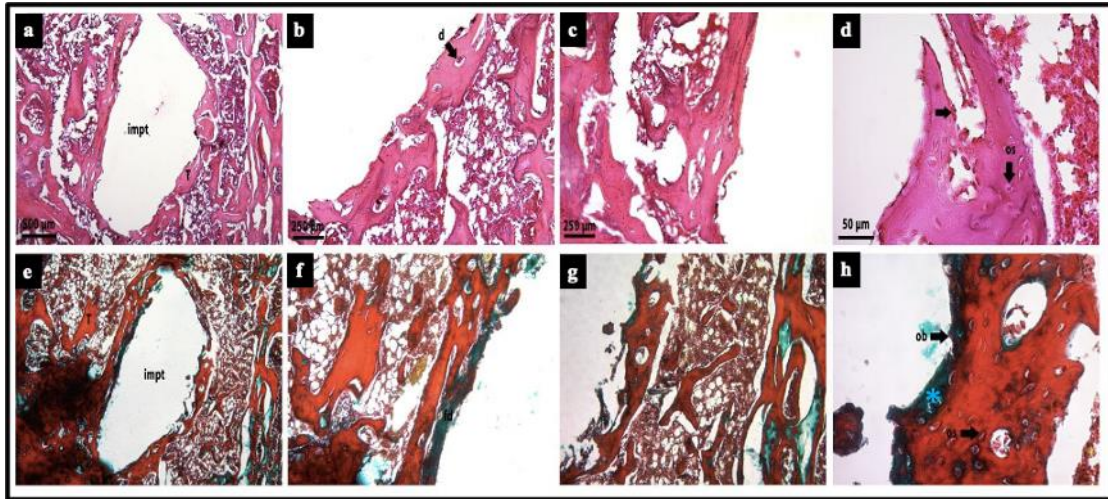


(b)

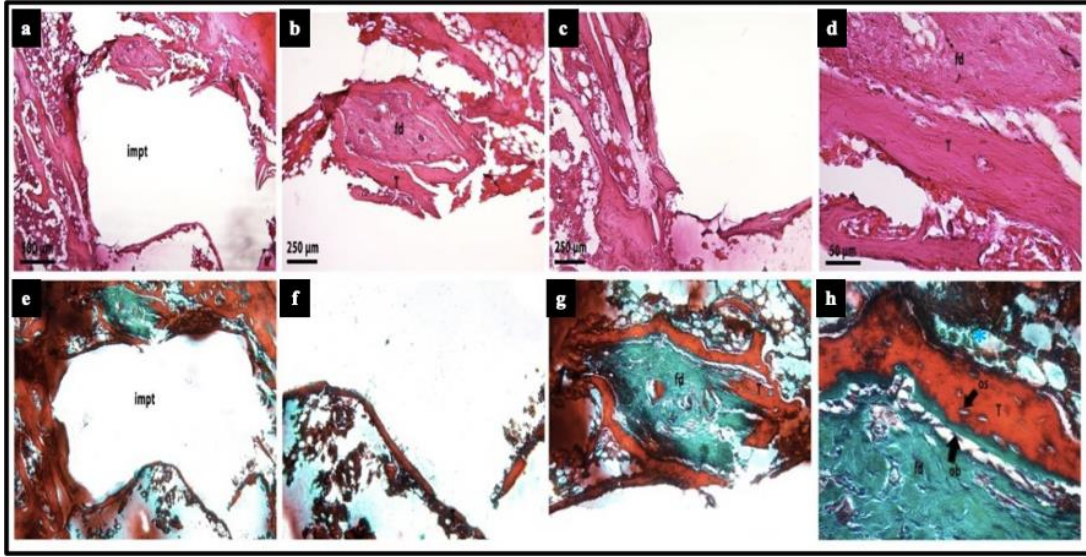
Şekil 5. 2 saat sinterlenen Ti-20Zr numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri, 1200 °C (a), 1400 °C (b)

Şekil 6 ve 7, sırasıyla 1200 °C-2h ve 1400 °C-2h sinterlenmiş Ti-20Zr alaşımlarının in vivo değerlendirme sonuçlarını göstermektedir. In vivo deneyler, her iki numune için de implantasyon bölgesinde inflamatuvar reaksiyon ve yabancı cisim reaksiyonunun meydana gelmediğini ortaya koydu. Ayrıca implant çevresinde yeni kemik dokusunun oluştuğu ve damarlanmanın arttığı gözlemlendi. Kortikal kemik yıkımına dair bir kanıt yoktu, kemik doku hücreleri ve osteositler normal görünümdeydi. Ayrıca her iki örnekte de osteoblastik aktivitenin devam ettiği ve kemik trabekülleri çevresinde yeni kemik oluşumu için matriks sentezlediği gözlemlendi. Thoma ve ark., [23] ve Sista ve ark., [2] sırasıyla Ti-15Zr (% kütle) ve Ti-50Zr (% ağırlık) alaşımlarının benzer biyouyumluluk özelliklerini in vivo ve in vitro olarak bildirmişlerdir.

1200 °C-2h ve 1400 °C-2h sinterlenmiş Ti-20Zr implant numunelerinin biyouyumluluk sonuçları arasında fark vardır. Bu farklılığın ana nedeni, 1200 °C-2h sinterlenmiş implant numunelerinin daha yüksek gözenekliliğe sahip olmasıdır. Yüksek gözenek oranı oksijen ve besinlerin taşınmasını kolaylaştırdığından hücre çoğalmasına neden olur. Bu nedenle 1200 °C-2h sinterlenmiş implant örneklerinin kullanıldığı grupta gözenek oranının daha yüksek olması sebebiyle, yeni kemik oluşumu, fibröz bağ dokusu oluşumu ve damarlanmanın daha yüksek olduğu gözlemlendi. Shibata ve Okuno [24] gözenekli titanyum implantların in vivo olarak yetişkin erkek beyaz tavşanlar kullanılarak araştırıldığını ve implant malzemelerindeki gözenek boyutu arttıkça kemik büyümesinin hızlandığını bildirmişlerdir. Mour ve ark., [25], in vivo ve in vitro deneyler de dahil olmak üzere implant malzemeleri için gözenek oranı ve boyutunun önemini ayrıntılı olarak bildirdi. Bu çalışmaları da destekler nitelikli olarak gözenekli Ti-20Zr alaşımlarının iyi biyoaktivite, mükemmel biyouyumluluk ve korozyon direnci ile biyomedikal uygulamalarda implant olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 6. 1200 °C'de 2 saat sinterlenmiş Ti-20Zr numunelerinin implantasyonundan sonraki histolojik görüntü. (a)–(d): Hematoksilen ve Eozin boyaması; (e)–(h): Trikom boyamanın Masson-Goldner görüntüleri (a, e x4; b, f x10; c, d, g ve h x40 büyütme). impt: İmplant bölgesi, T: kemik trabekülleri, K: kemik iliği, d: vasküler, os: osteosit, ob: osteoblast, *: yeni kemik oluşumu.



Şekil 7. 1400 °C'de 2 saat sinterlenmiş Ti-20Zr numunelerinin implantasyonundan sonraki histolojik görüntü. (a)–(d): Hematoksilen ve Eozin boyaması; (e)–(f): Trikrom boyamanın Masson-Goldner görüntüleri (a, e x4; b, f x10; c, d, g ve h x40 büyütme). impt: İmplant bölgesi, T: kemik trabekülleri, K: kemik iliği, d: vasküler, os: osteosit, ob: osteoblast, *: yeni kemik oluşumu.

IV. SONUÇLAR

Farklı sıcaklıklarda sinterlenen Ti-20Zr alaşımları, cerrahi koşullarda implant malzemesi olarak kullanılmak üzere toz metalurjisi yöntemiyle başarıyla üretilmiştir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça porozite oranının azaldığı ve yapının daha homojen olduğu gözlemlenmiştir. Yapının α ve α' olmak üzere iki fazdan oluştuğu belirlenmiştir. Ek olarak, sinterleme sıcaklığının artmasıyla yapıdaki gözenek oranı azaldığı için basma dayanımı artarken birim şekil değişimi azalmıştır. In vivo deneylerin sonuçlarına göre 1200 °C'de sinterlenen implant numunelerinin, fibröz bağ dokusu oluşumu, yeni kemik oluşumu ve damarlanma açısından 1400 °C'de sinterlenen numunelere göre daha iyi olduğu belirlendi. Bu değerlendirmeler sonucunda düşük sinterleme sıcaklığında elde edilen yüksek gözenek oranının biyouyumluluğa daha olumlu etki ettiği gözlemlendi.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından Yüksek Lisans tezi için desteklenmiştir (Proje No: MÜFYL/2016-0005).

KAYNAKLAR

- [1] Verma, R. P. (2020). Titanium based biomaterial for bone implants: A mini review. *Material Today: Proceeding*, 26, 3148–3151.
- [2] Sista, S., Wen, C., Hodgson, P. D. & Pande, G. (2011). The influence of surface energy of titanium-zirconium alloy on osteoblast cell functions in vitro. *Journal of Biomedical Materials Research A*, 97, 27–36.
- [3] Wen, C. E., Yamada, Y., & Hodgson P.D., (2006). Fabrication of novel TiZr alloy foams for biomedical applications. *Materials Science and Engineering C*, 26, 1439 – 1444.
- [4] Dercz, I. M. G. & Barczyk, J. (2020). Titanium/Zirconium functionally graded materials with porosity gradients for potential biomedical applications. *Materials Science and Technology*, 36, 972-977.
- [5] Correa, D.R.N., Rocha, L.A., Donato, T.A.G., Sousa, K.S.J., Grandini, C.R., Afonso, H. Doi, C.R.M., Tsutsumi, Y. & Hanawa, T. (2020). On the mechanical biocompatibility of Ti-15Zr-based alloys for potential use as load-bearing implants. *Journal Materials Research and Technology*, 9, 1241–1250.
- [6] Mareci, D., Sutiman, D., Chelariu, R., Leon, F. & Curteanu, S. (2013). Evaluation of the corrosion resistance of new ZrTi alloys by experiment and simulation with an adaptive instance-based regression model. *Corrosion Science*, 73, 106–122.

- [7] Bolat, G., Izquierdo, J., Mareci, D., Sutimana, D. & Souto, R. M. (2013). Electrochemical characterization of ZrTi alloys for biomedical applications. Part 2: The effect of thermal oxidation. *Electrochimica Acta*, 106, 432–439.
- [8] Saulacic, N., Bosshardt, D.D., Bornstein, M.M., Berner S. & Buser, D. (2012). Bone Apposition to A Titanium-Zirconium Alloy Implant, As Compared to Two Other Titanium-Containing Implants. *European Cells & Materials*, 23, 273-288.
- [9] Grandin, H. M., Berner, S. & Dard, M. (2012). A Review of Titanium Zirconium (TiZr) Alloys for Use in Endosseous Dental Implants. *Materials*, 5, 1348-1360.
- [10] Saldaña, L., Méndez-Vilas, A., & Jiang, L. (2007). In vitro biocompatibility of an ultrafine grained zirconium. *Biomaterials*, 28, 4343–4354.
- [11] Kulakov, O. B., Doktorov, A. A., & D'iakova, S. V., (2005). Experimental study of osseointegration of zirconium and titanium dental implants. *Morfologiya*, 127, 52–55.
- [12] Matuła, I., Dercz, G., Barczyk, J. (2020). Titanium/Zirconium functionally graded materials with porosity gradients for potential biomedical applications. *Materials Science and Technology*, 36, 972-977.
- [13] Çakmak, Ö., & Kaya, M. (2021). Effect of sintering procedure on microstructure and mechanical properties of biomedical TiNbSn alloy produced via powder metallurgy. *Applied Physics A*, 127(561), 1-8.
- [14] Yılmaz, E., Gökçe, A., Fındık, F., & Gülsoy, H.O. (2018). Powder metallurgy processing of Ti–Nb based biomedical alloys. *Acta Physica Polonica A*, 134, 278–280.
- [15] Arabnejad, S., Johnston, R. B., Pura, J. A., Singh, B., Tanzer, M. & Pasini, D. (2016). High-strength porous biomaterials for bone replacement: A strategy to assess the interplay between cell morphology, mechanical properties, bone ingrowth and manufacturing constraints. *Acta Biomaterial*, 30, 345-356.
- [16] Levine, B. (2008). A new era in porous metals: applications in orthopedics. *Advanced Engineering Materials*, 10, 788–792.
- [17] Kaya, M., Yakuphanoglu, F., Elibol, E. & Köm, M. (2019). Microstructure characterization and biocompatibility behaviour of TiNbZr alloy fabricated by powder metallurgy. *Material Research Express*, 6, 1-12.
- [18] Wu, S., Liu, X., Yeung, K.W.K., Liu, C. & Yang, X. (2014). Biomimetic porous scaffolds for bone tissue engineering. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 80, 1–36.
- [19] Akkuş, A. (2017). Investigation of Biocompatibility Property and Production of TiZr Alloys by Powder Metallurgy. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği ABD, Adıyaman Üniversitesi.
- [20] Li, Y., Cui, Y., Zhang, F., & Xu, H. (2011). Shape memory behavior in Ti–Zr alloys. *Scripta Materialia*, 64, 584–587.
- [21] Wang, B., Ruan, W., Liu, J., Zhang, T., Yang, H. & Ruan, J. (2019). Microstructure, mechanical properties, and preliminary biocompatibility evaluation of binary Ti–Zr alloys for dental application. *Journal of Biomaterial Application*, 33, 1-10.
- [22] Kaya, M. & Yakuphanoglu, F. (2019). A study on microstructure of porous TiNbZr alloy produced as biomaterial. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 50, 742–746.
- [23] Thoma, D. S., Jones, A. A., Dard, M., Grize, L., Obrecht, M. & Cochran, D. L. (2011). Tissue Integration of a New Titanium– Zirconium Dental Implant: A Comparative Histologic and Radiographic Study in the Canine. *Journal of Periodontology*, 82, 1453-146.
- [24] Shibata, N. & Okuno, O. (1987). Bone and Fibrous Tissue Ingrowth into the Porous Zr-Ti Implants. *Dental Materials Journal*, 6, 185-200.
- [25] Mour, M., Das, D., Winkler, T., Hoening, E., Mielke, G., Morlock, M.M. & Schilling, A. F. (2010). Advances in Porous Biomaterials for Dental and Orthopedic Applications. *Materials*, 3, 2947-2974.

Araştırma Makalesi -Research Article

Bir Simülasyon Çalışması ile Cezalı Regresyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Comparison of Penalized Regression Methods through a Simulation Study

Murat Genç^{1*}

Geliş / Received: 13/09/2021

Revize / Revised: 25/02/2022

Kabul / Accepted: 07/03/2022

ÖZ

Veri kümesinde çoklu iç ilişki problemi olması durumunda kararlı katsayı tahminleri elde etmek için sıklıkla cezalı regresyon yöntemleri kullanılır. Ayrıca bu yöntemler uygulanan ceza teriminin yapısına bağlı olarak otomatik değişken seçimi de yapabilmektedir. Bu çalışmada literatürde yaygın kullanım alanı bulan ridge, LASSO, elastik net ve uyarlanabilir LASSO cezalı regresyon yöntemlerinin gerçek katsayı vektörünün yapısına bağlı olarak simülasyon çalışmaları yoluyla performanslarının ayrıntılı olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada karşılaştırma kriteri olarak test kümesi üzerinde hata kareler ortalaması, yanlış sınıflama oranı, yanlış pozitif oranı ve aktif küme büyüklükleri kullanılmıştır. Simülasyon çalışmaları, gerçek katsayı vektörünün yapısının yöntemlerin ortaya çıkardığı model performansı üzerinde önemli etkisinin olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler- *Doğrusal Regresyon, Ridge, Lasso, Elastik Net, Çoklu İç İlişki*

ABSTRACT

Penalized regression methods are often used to obtain stable coefficient estimates in case of multicollinearity problems in the dataset. In addition, these methods can make automatic variable selection depending on the nature of the penalty term applied. In this study, a detailed comparison of the performances of ridge, LASSO, elastic net and adaptive LASSO penalized regression methods, which are widely used in the literature, is made through simulation studies depending on the structure of the real coefficient vector. Mean squared error on the test set, misclassification rate, false positive rate and active set sizes are used as comparison criteria in the study. Simulation studies show that the structure of the real coefficient vector has a significant effect on the model performance revealed by the methods.

Keywords- *Linear Regression, Ridge, Lasso, Elastic Net, Multicollinearity*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: muratgenc@tarsus.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-6335-3044>)

Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Tarsus Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Takbaş Mahallesi Kartaltepe Sokak 33400 Tarsus, Mersin, Türkiye

I. GİRİŞ

Verinin oluşmasını sağlayan sistem hakkında bilgi edinmek ve yeni gözlemlerin ön tahminini yapmak veri analizinin temel hedeflerindedir. Veri analizinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biri doğrusal regresyon modellemesidir. Doğrusal regresyon modellerinin doğruluğu ve yorumu genellikle regresyon katsayılarının tahminine bağlıdır y , $n \times 1$ boyutlu yanıt değişkenlerin gözlem vektörü; X , $n \times p$ boyutlu açıklayıcı değişkenlerin gözlem matrisi; β , $p \times 1$ boyutlu bilinmeyen regresyon katsayıları vektörü ve ε , $n \times 1$ boyutlu 0 ortalamalı ve σ^2 varyans-kovaryans matrisli hata terimleri vektörü olmak üzere

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (1)$$

doğrusal regresyon modeli ele alınsın. Regresyon katsayılarının klasik en küçük kareler tahmin edicisi (EKK)

$$\hat{\beta}_{ekk} = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (2)$$

olarak tanımlanır. Klasik varsayımlar sağlandığında EKK, yansızdır ve tüm doğrusal yansız tahmin ediciler içinde en küçük varyansa (Best Linear Unbiased Estimator, BLUE) sahiptir. Fakat veri kümesinde açıklayıcı değişkenler arasında bulunan doğrusal bağıntı olarak tanımlanan çoklu iç ilişkinin bulunması durumunda EKK tahminleri gerçek katsayı değerlerinden uzak ve tahminlerin varyansı çok büyük olur. Çoklu iç ilişki problemi azaltılabilir; ancak tamamıyla ortadan kaldırılamaz [1]. Veri kümesinde çoklu iç ilişki olması durumunda ridge regresyon [2], kısıtlı en küçük kareler tahmin edicisi [3] ve kısıtlı ridge tahmin edici [4] EKK'ya alternatif olarak önerilen yanlı tahmin ediciler arasında gösterilebilir. Ayrıca ridge regresyona dayalı olarak daha iyi performansa sahip tahmin ediciler de önerilmiştir [5, 6].

Regresyon analizinde modele alınan açıklayıcı değişkenler model performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Modele alınacak açıklayıcı değişkenlerin belirlenmesi için farklı yöntemler önerilmiştir. En iyi alt küme seçim ve adimsal alt küme seçim yöntemlerinin [7] yanı sıra bridge regresyon [8], LASSO (least absolute shrinkage and selection operator) [9], elastik net [10] ve uyarlanabilir (adaptive) LASSO [11] gibi sürekli bir ceza teriminin kullanıldığı yöntemler bu yöntemler arasında gösterilebilir. Bu yöntemlerden en iyi alt küme seçim yönteminde açıklayıcı değişkenlerin tüm kombinasyonlarına dayalı olarak oluşturulan regresyon modelleri dikkate alınarak yanıt değişkeni üzerinde güçlü etkisi olan açıklayıcı değişkenlerin modele dahil edilmesi hedeflenir. Dolayısıyla hesaplama maliyeti yüksek olan bir yöntemdir. Bridge regresyon, $\|\beta\|_1$, $\gamma > 0$ ceza fonksiyonuna sahip bir cezalı regresyon yöntemleri sınıfıdır. LASSO, bridge regresyonun ceza fonksiyonunda $\gamma = 1$ durumuna karşılık gelir ve konveks bir ceza fonksiyonuna sahiptir. Elastik net, LASSO ceza fonksiyonuna yeni bir cezalandırma teriminin eklenmesi ile elde edilir. Bu bakımdan elastik net, LASSO'nun bir genelleştirilmesi olarak görülebilir. Uyarlanabilir LASSO ise LASSO'nun ceza fonksiyonunun uyarlanabilir ağırlıklar kullanılarak güncellenmesine dayalı iki aşamalı bir yöntemdir.

Cezalı regresyon yöntemleri hem gözlem sayısının açıklayıcı değişken sayısından büyük olduğu klasik veri kümelerinde hem de açıklayıcı değişken sayısının gözlem sayısını aştığı yüksek boyutlu veri kümelerinde katsayı tahmini için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir (bkz. [12, 13, 14]). Literatürde simülasyona dayalı olarak farklı doğrusal regresyon modellerinin karşılaştırılmasına dair çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. [15], çalışmada alt modellerin entegre edilmesinin etkisini incelemek amacıyla bir simülasyon çalışması yapılmıştır. [16], yüksek boyutlu veri analizi için en küçük kareler ve temel bileşenler regresyonda bootstrap yöntemine dayalı olarak değişken seçimi üzerine bir simülasyon çalışması gerçekleştirmiştir.

Bu çalışmada klasik veri kümelerinde gerçek katsayı vektörünün yapısı, sıfır değerli katsayıların miktarı ve konumuna bağlı olarak EKK tahmin edicisi ile konveks ceza fonksiyonuna sahip ridge, LASSO, elastik net ve uyarlanabilir LASSO cezalı regresyon yöntemlerinin doğrusal regresyon modelinin performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla bir simülasyon çalışması yapılmıştır.

Çalışmanın 2. bölümünde ridge, LASSO, elastik net ve uyarlanabilir LASSO cezalı regresyon yöntemleri tanıtılmıştır. Daha sonra katsayı tahmininde kullanılan çapraz geçerlilik yöntemi açıklanmış ve yöntemlerin karşılaştırılmasında kullanılan kriterlere değinilmiştir. Son olarak simülasyon çalışmalarının kurgusu verilmiştir. Çalışmanın 3. bölümünde yöntemlerin karşılaştırılması için yapılan simülasyon çalışmalarının bulguları verilmiş ve sonuçlar ayrıntılı bir biçimde irdelenmiştir. Çalışmanın 4. bölümünde ise çalışma sonlandırılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

A. Doğrusal Regresyonda Katsayı Tahmin Yöntemleri

Doğrusal regresyon analizinde modelin ön tahmin performansının artırılması ve doğru değişkenlerin seçilmesi için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler arasında bulunan en iyi alt küme seçimi yöntemi açıklayıcı değişkenlerin veri kümesini iyi temsil eden bir alt kümesinin belirlenmesi ilkesine dayanır. Bu yöntem model yorumlanabilirliği açısından iyi sonuçlar verir. Fakat çok sayıda açıklayıcı değişken içeren modellerde hesaplama zorlukları nedeniyle makul değildir. Ayrıca bu yöntem verideki küçük değişimler karşısında kararlı olmayan sonuçlar verir. Dolayısıyla tahminleri tutarlı değildir.

En iyi alt küme seçimi yönteminde karşılaşılan zorlukların aşılabilmesi için cezalı regresyon yöntemleri önerilmiştir. Bu yöntemler son zamanlarda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [17]. Cezalı regresyon yöntemlerinde otomatik model seçimi katsayıların tahmini ile eşanlı olarak yapılır. Bu yöntemlerle kararlı katsayı tahmin değerleri elde edilmektedir. x_i , i . gözlem için $p \times 1$ boyutlu açıklayıcı değişken vektörü, y_i , i . gözleme ait yanıt değeri olmak üzere $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ bağımsız ve aynı dağılımlı veri kümesi verilsin. Denklem (1)'de verilen doğrusal regresyon modeli için cezalı (negatif) log-olabilirlik fonksiyonu

$$Q(\beta) = \frac{1}{2n} \|y - X\beta\|_2^2 + \lambda \cdot p(\beta) \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır. Burada, $j = 1, 2, \dots, p$ için β_j , β katsayı vektörünün j . terimi, $p(\cdot)$ ceza fonksiyonu ve λ ayar parametresidir. Cezalı regresyonda katsayı tahminleri Denklem (3) ile verilen cezalı log-olabilirlik fonksiyonunun minimize edilmesi ile elde edilir. Literatürde birçok ceza fonksiyonu bulunmaktadır. Ridge regresyon için ceza fonksiyonu $p(\beta) = \|\beta\|_2^2 = \sum_{j=1}^p \beta_j^2$ (L_2 türü ceza fonksiyonu), LASSO regresyon için ceza fonksiyonu $p(\beta) = \|\beta\|_1 = \sum_{j=1}^p |\beta_j|$ (L_1 türü ceza fonksiyonu), $\alpha \in [0, 1]$ yeni bir ayar parametresi olmak üzere elastik net regresyon için ceza fonksiyonu $p(\beta) = \alpha \|\beta\|_1 + (1 - \alpha) \|\beta\|_2^2$ ve w , uyarlanabilir ağırlıklar vektörü olmak üzere uyarlanabilir LASSO ceza fonksiyonu $p(\beta) = \sum_{j=1}^p w_j |\beta_j|$ bu ceza fonksiyonları arasında gösterilebilir.

Gauss Markov teoremine göre Denklem (2) ile verilen EKK tahmin edicisi tüm yansız tahmin ediciler sınıfı içinde en küçük varyansa sahiptir. Ancak veri kümesinde çoklu iç ilişkinin varlığında bu varyans çok büyük olur. Bu problemin aşılabilmesi için [2] tarafından yanlı fakat EKK'ya göre daha küçük varyansa sahip ridge regresyon tahmin edicisi önerilmiştir. Ridge regresyonda fazla büyük olan katsayılar cezalandırılarak bu katsayıların büzülmesi sağlanır. Böylece "katsayıların varyansının aşırı şişmesi" probleminin aşılması hedeflenir. Ridge regresyon katsayı tahminleri

$$\hat{\beta}_R = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \left\{ \frac{1}{2n} \|y - X\beta\|_2^2 + \lambda \|\beta\|_2^2 \right\} \quad (4)$$

probleminin çözülmesi ile elde edilir. Burada $\lambda > 0$, ayar parametresi büzülmenin miktarını belirler; λ büyüdükçe büzülme miktarı artar. Denklem (4)'teki problemin çözülmesi ile ridge tahmin edicisi

$$\hat{\beta}_R = (X^T X + \lambda n I_p)^{-1} X^T y \quad (5)$$

olarak bulunur. Burada I_p , $p \times p$ boyutlu birim matristir. Bir regresyon modelinde çok sayıda korelasyonlu değişken varsa EKK, regresyon model katsayılarını kötü bir şekilde tahmin eder ve katsayı tahminleri yüksek varyanslı olur. Ridge regresyon yöntemi kullanılarak bu problem aşılabılır. Dolayısıyla ridge regresyon EKK'ya göre daha doğru ön tahmin değerleri verir. Fakat ridge regresyonda katsayıların sıfır olarak tahmin edilmesi söz konusu değildir. Dolayısıyla ridge regresyon otomatik değişken seçimi yapamaz.

Ridge regresyonun model yorumlanabilirliği konusundaki eksikliği göz önüne alınarak [9]'da LASSO yöntemi önerilmiştir. LASSO'da katsayı tahminleri

$$\hat{\beta}_L = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \left\{ \frac{1}{2n} \|y - X\beta\|_2^2 + \lambda \|\beta\|_1 \right\} \quad (6)$$

probleminin çözülmesi ile elde edilir. LASSO regresyonda yeterince büyük λ değerleri için kısıtın doğası gereği bazı regresyon katsayı tahminleri sıfır olur. Dolayısıyla LASSO sürekli parametre uzayında bir alt küme seçim yöntemidir. Buna göre LASSO regresyonun hem ön tahmin doğruluğu hem de model yorumlanabilirliği açısından iyi sonuçlar verme potansiyeli vardır. Literatürde LASSO regresyonun performansına ve çeşitli alanlara uygulanmasına dair birçok çalışma bulunmaktadır. [18], Cox modelde değişken seçimi için LASSO'yu kullanmıştır. [19], zamansal veya uzamsal yapının dikkate alınması gereken zaman serileri veya görüntü tabanlı veriler gibi veri kümeleri için kullanışlı olan kaynaşmış (fused) LASSO'yu önermiştir. [20], LASSO'nun model seçiminde tutarlı olması için gerek ve yeter bir koşul vermiştir. [21], Tukey ağırlık fonksiyonuna dayalı bir dayanıklı (robust) LASSO tahmin edicisi önermiştir.

Modelde yüksek korelasyonlu değişkenler bulunması durumunda LASSO tek başına yeterli bir yöntem olmayabilir [9]. Ayrıca yüksek korelasyonlu değişkenlerin kendi aralarında grup oluşturduğu göz önüne alındığında LASSO bu gruptaki değişkenlerin birini modele almakta diğerlerini modelden çıkarmaktadır [10]. Bu nedenle [10]'da LASSO'ya alternatif olarak elastik net yöntemi önerilmiştir. Elastik net yönteminde ceza terimi L_1 ve L_2 türü ceza terimlerinin konveks bir bileşimidir. $0 \leq \alpha \leq 1$ olmak üzere elastik net regresyonda katsayı tahminlerine

$$\hat{\beta}_E = \operatorname{argmin}_{\beta} \left\{ \frac{1}{2n} \|y - X\beta\|_2^2 + \lambda(\alpha\|\beta\|_1 + (1 - \alpha)\|\beta\|_2^2) \right\} \quad (7)$$

probleminin çözülmesi ile ulaşılır. $\alpha = 0$ durumunda elastik net ridge regresyona indirgenirken $\alpha = 1$ durumunda elastik net LASSO'ya indirgenir. [10]'da bir simülasyon çalışması ile elastik netin bazı durumlarda LASSO'dan daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir. Grup etkisinin bulunduğu veri kümelerinde yüksek korelasyona sahip değişkenler ya birlikte modele dahil olur veya birlikte model dışında kalır. Elastik net modelde grup etkisi olması durumunda da doğru çözümler üretmektedir.

LASSO'nun değişken seçiminde tutarlı olmadığı bazı senaryolar söz konusudur. Bu gibi durumlarda [11] değişken seçiminde tutarlı bir yöntem olarak uyarlanabilir LASSO'yu önermiştir. Uyarlanabilir LASSO'nun katsayı tahminlerine

$$\hat{\beta}_{U-L} = \operatorname{argmin}_{\beta} \left\{ \frac{1}{2n} \|y - X\beta\|_2^2 + \sum_{j=1}^p w_j |\beta_j| \right\} \quad (8)$$

problemi çözülerek ulaşılır. Uyarlanabilir LASSO'da uyarlanabilir ağırlıkların uygun bir şekilde seçilmesi kritik öneme sahiptir. β^* , β için tutarlı bir tahmin edici olmak üzere uyarlanabilir ağırlıklar vektörü $\hat{w} = 1/|\beta^*|$ olarak seçilebilir. Burada mutlak değer fonksiyonu β^* vektöründeki her bir terime uygulanmaktadır. [11], uyarlanabilir ağırlıkların hesaplanmasında $\hat{\beta}_{ekk}$ 'nin kullanılmasını önermiştir. Dolayısıyla uyarlanabilir LASSO iki aşamalı bir yöntem olarak tanımlanır. Birinci aşamada EKK katsayı tahminleri ve buna bağlı olarak uyarlanabilir ağırlıklar elde edilir. İkinci aşamada ise LASSO ceza fonksiyonu birinci aşamada elde edilen uyarlanabilir ağırlıklar ile yeniden ağırlıklandırılarak Denklem (8)'deki problem çözülür ve uyarlanabilir LASSO katsayı tahminlerine ulaşılır.

B. Ayar Parametresi Tahmininde Kullanılan Değerlendirme Yöntemleri

Değerlendirme yöntemleri regresyon modelinin ön tahmin performansını değerlendirerek ayar parametresi tahmininde kullanılan yöntemlerdir.

K katlı çapraz geçerlilik, yeni örneklem hatasının tahmin edilmesinde kullanılan ve yeniden örnekleme dayalı bir yöntemdir. Yöntemin uygulanabilmesi için veri kümesi yaklaşık olarak eşit K kata (alt veriye) ayrılır. Her bir aşamada veri kümesinin $K - 1$ kata karşılık gelen kısmı üzerinde model oluşturulur ve dışarıda kalan kat üzerinde ön tahmin hatası hesaplanır. Daha açık bir ifadeyle veri kümesi D ile gösterilsin ve D kümesi D_1, D_2, \dots, D_K şeklinde K tane ayrık kümeye bölünsün. Her bir D_i bir kat olarak adlandırılır. $k = 1, 2, \dots, K$ olmak üzere $D_{(-k)} = \bigcup_{j \neq k} D_j$ olsun. $D_{(-k)}$ kümesi üzerinde tahmin edilen model katsayıları $\beta_{(-k)}$ olsun. Tahmin edilen model için çapraz geçerlilik (CV, cross-validation)

$$CV = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^K \left\{ \frac{1}{n_k} \sum_{i \in D_k} (y_i - x_i^T \beta_{(-k)})^2 \right\} \quad (9)$$

şeklinde bulunur. Farklı ayar parametresi değerleri için CV , ilgili ayar parametresinde test hatası değerinin bir tahminini verir. Bu değer minimuma ulaştığı noktaya karşılık gelen ayar parametresi değeri, modelin ayar parametresinin tahmini olarak alınır.

Bir diğer teknik veri kümesinin eğitim değerlendirme ve test kümelerine ayrıştırılması ilkesine dayanır [10, 22]. Bu teknikte cezalı regresyon yöntemleri tüm ayar parametresi değerleri için eğitime tabi tutulur. Eğitime tabi tutulan tüm modeller için değerlendirme kümesi üzerinde hata kareler ortalaması değerleri hesaplanır. Tahmin edilen model en küçük hata kareler ortalamasını veren model olarak seçilir. Bu modelin performansı ise test kümesi üzerinde hesaplanan hata kareler ortalaması ile belirlenir.

C. Simülasyon Çalışmaları ve Karşılaştırma Kriterleri

Bu çalışmada EKK, ridge, LASSO, elastik net ve uyarlanabilir LASSO yöntemleri simülasyon çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon çalışmalarında kullanılan veri kümeleri Denklem (1)'de verilen doğrusal regresyon modeline göre [9]'da betimlenen veri üretme yöntemiyle elde edilmiştir. Simülasyon Çalışması 1-4'te katsayı vektörünün sıfıra eşit terimleri, sıfırdan farklı terimlerinden sonra gelmektedir. Bu simülasyon çalışmalarında sıfırdan farklı katsayı değerleri, ilk terimi 0.5 ve ortak farkı 0.5 olan bir aritmetik dizinin terimlerinden oluşmaktadır. Simülasyon Çalışması 5-6'da ise sıfırdan farklı değerler eşit seçilmiş olup sıfır değerli terimlerin adedi ve konumu değiştirilerek tahmin edicilerin farklı seyreklik (sparsite) ve konum durumunda gösterdikleri performans incelenmiştir. Simülasyon çalışmalarının ayrıntıları aşağıdaki gibidir:

Simülasyon Çalışması 1: Bu çalışmada, 20 tahmin ediciden oluşan 100 veri kümesi üretilmiştir. Gerçek katsayı vektörü $\beta = \left[0.5, 1, 1.5, 2.2.5, \underbrace{0, 0, \dots, 0}_{15} \right]'$ şeklindedir. Bu simülasyon çalışmasında, x_i ve x_j açıklayıcı değişkenleri arasındaki korelasyon $r_{ij} = \rho^{|i-j|}$ olacak şekilde açıklayıcı değişkenler matrisi oluşturulmuştur. Burada çoklu iç ilişki durumunda tahmin edicilerin performansını incelemek için ρ 'nun iki değeri, sırasıyla orta ve yüksek düzeyde korelasyonu temsil etmek üzere, 0.7 ve 0.9 olarak alınmıştır. β 'nin sıfırlardan oluşan alt bloğu, sıfır olmayan terimlerden oluşan alt bloğundan sonra olacak şekilde seçilmiştir. Bu simülasyon çalışmasında gerçek katsayı değerlerinin %75'i sıfır olarak belirlenmiş olup seyrek (sparse) model durumunda tahmin edicilerin performansının karşılaştırılması hedeflenmektedir.

Simülasyon Çalışması 2: Bu çalışmada, Simülasyon Çalışması 1'deki kurgu gerçek katsayı vektörü $\beta = \left[0.5, 1, 1.5, \dots, \underbrace{5, 0, 0, \dots, 0}_{10} \right]'$ olmak üzere yeniden oluşturulmuştur. Gerçek katsayı değerlerinin %50'si sıfır olarak belirlenmiştir.

Simülasyon Çalışması 3: Bu çalışmada, Simülasyon Çalışması 1'deki kurgu gerçek katsayı vektörü $\beta = \left[0.5, 1, 1.5, \dots, \underbrace{7.5, 0, 0, \dots, 0}_{5} \right]'$ olmak üzere yeniden oluşturulmuştur. Gerçek katsayı değerlerinin %25'si sıfır olarak belirlenmiştir.

Simülasyon Çalışması 4: Bu çalışmada, Simülasyon Çalışması 1'deki kurgu gerçek katsayı vektörü $\beta = [0.5, 1, 1.5, \dots, 10]'$ olmak üzere yeniden oluşturulmuştur. Gerçek katsayı değerlerinin tamamı sıfırdan farklıdır.

Simülasyon Çalışması 5: Bu çalışmada, Simülasyon Çalışması 1'deki kurgu gerçek katsayı vektörü $\beta = \left[\underbrace{0, \dots, 0, 3}_{5}, \underbrace{0, \dots, 0, 3}_{5}, \underbrace{0, \dots, 0, 3}_{5}, \underbrace{0, \dots, 0, 3}_{5} \right]'$ olmak üzere yeniden oluşturulmuştur. β vektörü beşer birimlik $[0, \dots, 0, 3]$ alt bloklarından oluşmaktadır. Her bir blokta sıfırdan farklı katsayı son terime gelecek şekilde yazılmış olup katsayıların %80'i sıfırdır. Çalışmada seyrek model durumunda sıfırdan farklı katsayıya sahip açıklayıcı değişkenlerin konumunun analiz sonuçlarına etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir.

Simülasyon Çalışması 6: Bu çalışmada, Simülasyon Çalışması 1'deki kurgu gerçek katsayı vektörü $\beta = [3, 0, 3, 0, \dots, 3, 0]'$ olmak üzere yeniden oluşturulmuştur. β vektörü ikişer birimlik $[3, 0]$ alt bloklarından

oluşmaktadır. Katsayıların %50'sinin sıfır olduğu bu çalışmada Simülasyon 5'tekine göre daha yoğun (dense) bir model durumu incelenmiştir.

Her bir simülasyon çalışması için bağımsız eğitim, değerlendirme ve test kümesinden oluşan veri kümeleri üretilmiştir. Eğitim kümesi ve değerlendirme kümesi 50 gözlemden, test kümesi ise 200 gözlemden oluşmaktadır. Bu çalışmada Denklem (1)'de verilen doğrusal regresyon modelinde hataların standart sapması [9]'da verildiği gibi $\sigma = 3$ alınmıştır. Eğitim kümesi, model katsayılarını tahmin etmek için kullanılırken değerlendirme kümesi, ayar parametrelerini tahmin etmek için kullanılmıştır. Elastik net $\alpha = 0$ için ridge regresyona, $\alpha = 1$ için LASSO regresyona karşılık geldiğinden burada elastik netin LASSO ve ridge regresyondan farklılık düzeyini gözlemlemek için $\alpha = 0.5$ alınmıştır. Uyarlanabilir LASSO için V , test kümesindeki açıklayıcı değişkenler matrisine karşılık gelen kovaryans matrisi ve $\tilde{\beta}$, karşılaştırılan yöntemden elde edilen katsayı vektörü olmak üzere model performansını ölçmek için test kümesi üzerinde "test hata kareler ortalaması" (test mean squared error)

$$TMSE = (\beta - \tilde{\beta})^T V (\beta - \tilde{\beta})$$

değeri hesaplanmıştır. Her bir yöntem için sıfırdan farklı katsayı değerine sahip olan açıklayıcı değişkenlerin kümesi olan aktif kümeler elde edilmiştir. Bu bağlamda ilgili yöntem tarafından hatalı bir şekilde aktif kümeye alınan veya aktif kümenin dışında bırakılan açıklayıcı değişkenlerin oranı olarak tanımlanan yanlış sınıflama oranı ve gerçekte aktif kümenin dışında olan değişkenlerin aktif kümede tahmin edilme oranı olarak tanımlanan yanlış pozitif oranı yöntemlerin modele katkı sağlayan değişkenleri tespit etme performansının bir ölçüsü olarak verilmiştir. Ayrıca her bir yöntem için aktif küme büyüklükleri rapor edilmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Simülasyon Çalışması 1-4'ün sonuçları Tablo 1'de özetlenmiştir. Simülasyon Çalışması 4 dışındaki tüm simülasyon çalışmalarında EKK en büyük medyan TMSE değerine sahiptir. Tüm katsayı değerlerinin sıfırdan farklı olduğu Simülasyon Çalışması 4'te ise uyarlanabilir LASSO'nun TMSE bakımından kötü bir performans gösterdiği söylenebilir. Simülasyon Çalışması 1-2'de model büyük ölçüde seyreklerdir. Bu simülasyon çalışmalarında korelasyon miktarı orta düzeyde iken TMSE değerleri bakımından LASSO yöntemi diğer yöntemlere göre daha iyi bir performans göstermiştir. Ancak seyreklik düzeyi azalıp korelasyon düzeyi arttıkça LASSO'nun performansı elastik nete göre zayıflamaktadır. Ridge regresyon ve uyarlanabilir LASSO bu iki yönetime göre daha kötü bir sonuç vermiştir. Seyrekliğin azaldığı durumda (Simülasyon Çalışması 3) elastik net, TMSE açısından daha iyi bir sonuç vermiştir. Bu çalışmada TMSE performansı bakımından ridge regresyon, LASSO ve uyarlanabilir LASSO yöntemine göre daha iyidir. Tümünü yoğun olan model durumunda (Simülasyon Çalışması 4) ise ridge regresyon en iyi sonuçlara sahiptir. Bu durumda ridge regresyonu elastik net takip etmektedir. LASSO ve uyarlanabilir LASSO ise bu iki yönetime göre daha büyük bir medyan TMSE değeri vermiştir. Yanlış sınıflama oranı ve yanlış pozitif oranı bakımından Simülasyon Çalışması 1-3'te LASSO ve uyarlanabilir LASSO yöntemleri birbirine yakın olup diğer yöntemlere göre daha iyi bir sonuç vermiştir. Buna göre simülasyon çalışmalarında doğru açıklayıcı değişkenlerin belirlenmesi konusunda LASSO ve uyarlanabilir LASSO'nun diğer yöntemlere göre daha iyi olduğu söylenebilir. Yanlış sınıflama performansı bakımından elastik net, LASSO ve uyarlanabilir LASSO'yu takip etmektedir. EKK ve ridge regresyon değişken seçimi yapamadığı için yanlış sınıflama oranı bakımından iyi değildir. Simülasyon Çalışması 4'te hiçbir gerçek katsayı değeri sıfır olmadığı için bu çalışmada yanlış sınıflama oranı ve yanlış pozitif oranı verilmemiştir. Aktif küme büyüklükleri bakımından uyarlanabilir LASSO'nun diğer yöntemlere göre daha seyrek bir model verdiği söylenebilir.

Tablo 1. Simülasyon Çalışması 1-4 için tahmin edicilerin kalite ölçüleri

	ρ	Yöntem	Medyan TMSE	Standart Sapma	Yanlış Sınıflama Oranı	Yanlış Pozitif Oranı	Aktif Küme Büyüklüğü
Simülasyon 1	0.7	EKK	5.7484	0.28	0.75	1.00	20
		Ridge	2.2790	0.13	0.75	1.00	20
		LASSO	1.5067	0.11	0.20	0.20	7
		Elastik Net	1.8278	0.12	0.40	0.53	13
		Uyarlanabilir LASSO	2.1482	0.16	0.20	0.13	6

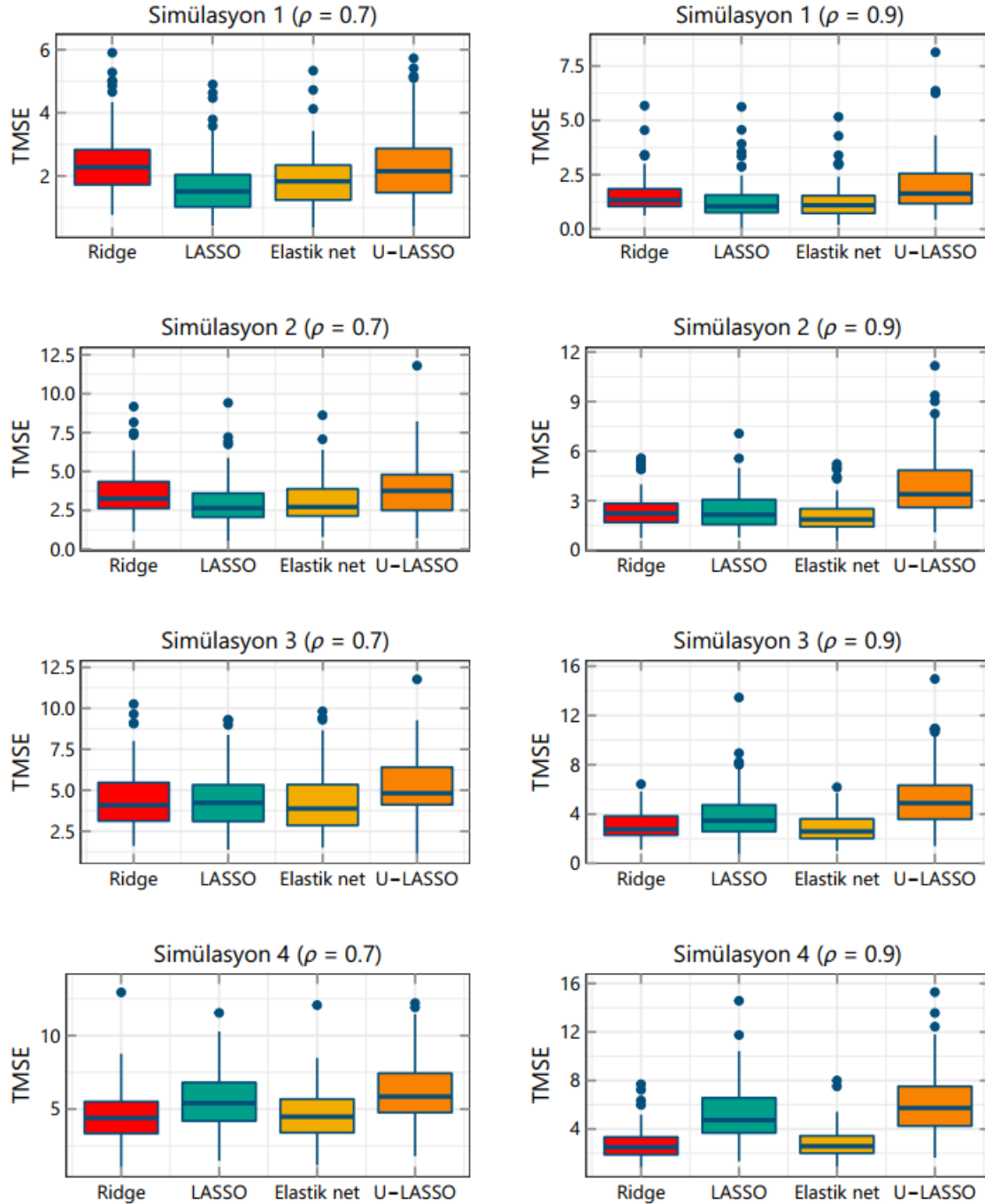
Tablo 1. Devam

	0.9	EKK	5.7462	0.29	0.75	1.00	20
		Ridge	1.3316	0.07	0.75	1.00	20
		LASSO	1.0416	0.08	0.20	0.20	7
		Elastik Net	1.0950	0.06	0.35	0.47	12
		Uyarlanabilir LASSO	1.6340	0.09	0.25	0.13	5
Simülasyon 2	0.7	EKK	5.7495	0.28	0.50	1.00	20
		Ridge	3.2506	0.25	0.50	1.00	20
		LASSO	2.6412	0.12	0.20	0.30	13
		Elastik Net	2.7168	0.16	0.40	0.80	17
		Uyarlanabilir LASSO	3.7515	0.23	0.20	0.30	11
	0.9	EKK	5.7173	0.30	0.50	1.00	20
		Ridge	2.2259	0.10	0.50	1.00	20
		LASSO	2.1475	0.13	0.20	0.30	12
		Elastik Net	1.8593	0.09	0.35	0.70	17
		Uyarlanabilir LASSO	3.3914	0.20	0.30	0.40	12
Simülasyon 3	0.7	EKK	5.7388	0.27	0.25	1.00	20
		Ridge	4.0820	0.18	0.25	1.00	20
		LASSO	4.2270	0.28	0.15	0.40	17
		Elastik Net	3.8767	0.19	0.25	1.00	19
		Uyarlanabilir LASSO	4.8149	0.20	0.15	0.40	16
	0.9	EKK	5.6790	0.31	0.25	1.00	20
		Ridge	2.7626	0.15	0.25	1.00	20
		LASSO	3.4672	0.19	0.15	0.40	16
		Elastik Net	2.5856	0.17	0.20	0.80	19
		Uyarlanabilir LASSO	4.8877	0.36	0.20	0.40	16
Simülasyon 4	0.7	EKK	5.7343	0.27	-	-	20
		Ridge	4.3928	0.17	-	-	20
		LASSO	5.4001	0.21	-	-	20
		Elastik Net	4.4781	0.22	-	-	20
		Uyarlanabilir LASSO	5.8433	0.33	-	-	19
	0.9	EKK	5.5923	0.33	-	-	20
		Ridge	2.4960	0.14	-	-	20
		LASSO	4.7243	0.31	-	-	19
		Elastik Net	2.5747	0.10	-	-	20
		Uyarlanabilir LASSO	5.7281	0.41	-	-	19

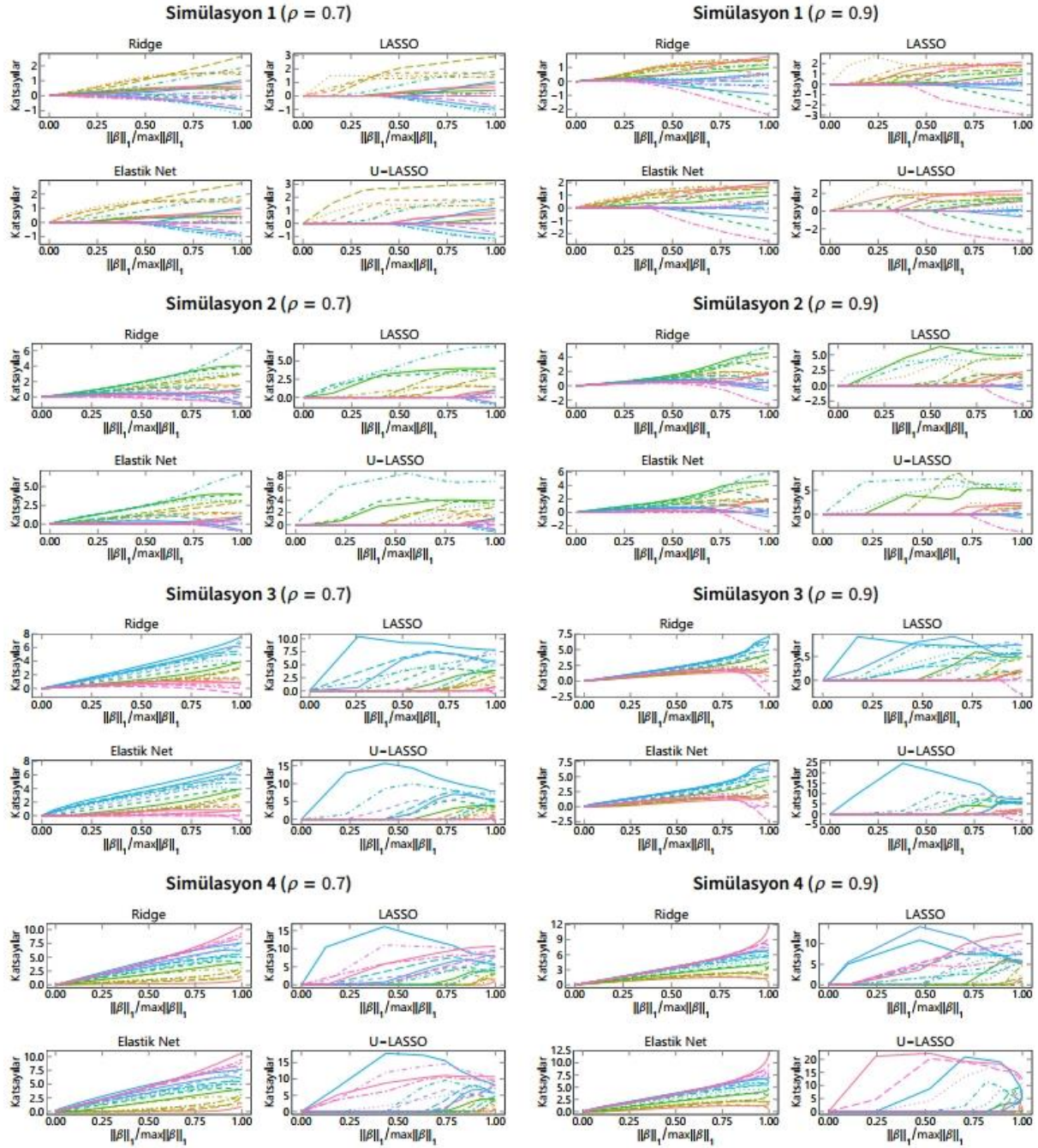
Şekil 1, Simülasyon Çalışması 1-4'te ridge, LASSO, elastik net ve uyarlanabilir LASSO (U-LASSO) yöntemleri ile elde edilen TMSE değerlerinin kutu grafiğini göstermektedir. Kutu grafikleri, Tablo 1'de verilen Simülasyon Çalışması 1-4'ten elde edilen çıkarımları desteklemektedir.

Şekil 2, Simülasyon Çalışması 1-4'te her bir tahmin edicinin katsayı izleri grafiğini göstermektedir. Karşılaştırmada kolaylık sağlaması bakımından katsayılar $\|\beta\|_1/\max\|\beta\|_1$ değerlerinin fonksiyonu olarak

çizilmiştir. Şekil 2’de değişken seçimi yapabilen yöntemlerin değişkenleri modele alma düzenleri görülmektedir. Genel olarak LASSO ve uyarlanabilir LASSO’nun daha seyrek bir model ürettiği, buna karşın α parametresinin etkisiyle elastik netin daha yoğun bir model tahmini verdiği söylenebilir.



Şekil 1. Simülasyon 1-4 için tahmin edicilerin test kümesindeki TMSE değerlerinin kutu grafikleri.



Şekil 2. Simülasyon 1-4 için tahmin edicilerin katsayı izleri grafikleri.

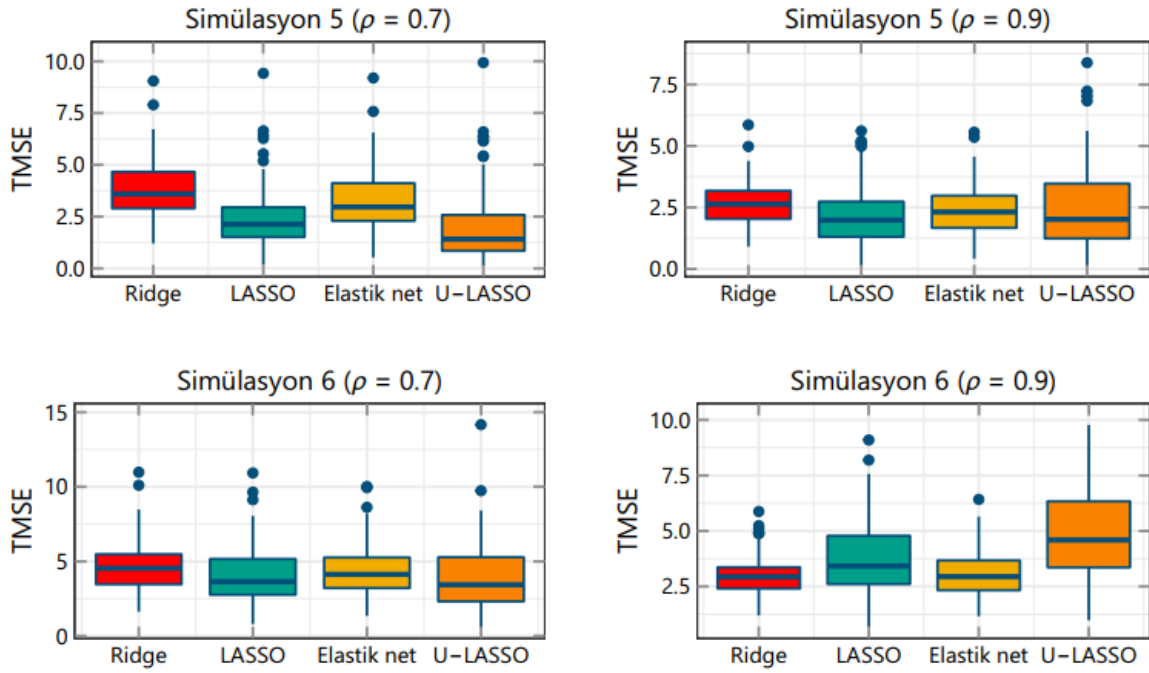
Simülasyon Çalışması 5-6'nın sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Her iki simülasyon çalışmasında da EKK diğer yöntemlere göre daha büyük TMSE değeri vermiştir. Bu simülasyon çalışmalarında korelasyon orta düzeyde iken uyarlanabilir LASSO, yüksek düzeyde iken LASSO en iyi TMSE değerine sahiptir. Yanlış sınıflama oranı ve yanlış pozitif oranı bakımından uyarlanabilir LASSO diğer yöntemlere göre daha iyi bir performans göstermiştir. Bu kriterler bakımından uyarlanabilir LASSO'yu LASSO takip etmektedir. Aktif küme büyüklüğü bakımından en gerçek seyreklik düzeyine en yakın modelleri uyarlanabilir LASSO vermiştir.

Tablo 2. Simülasyon Çalışması 5-6 için tahmin edicilerin kalite ölçüleri

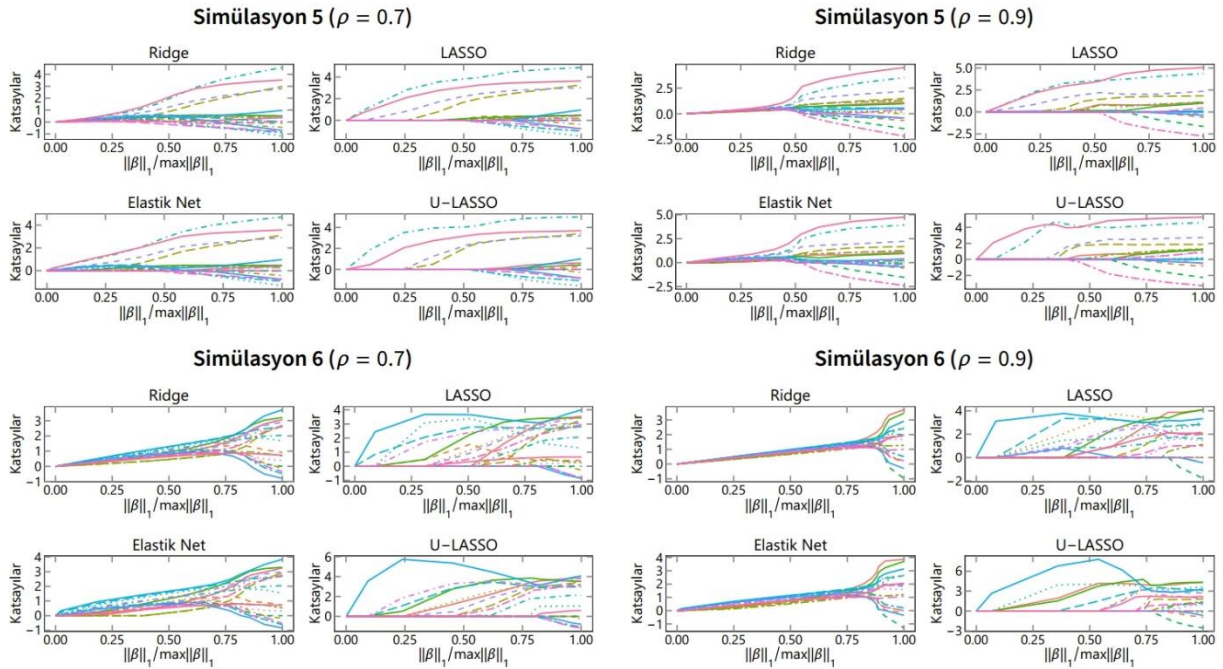
	ρ	Yöntem	Medyan TMSE	Standart Sapma	Yanlış Sınıflama Oranı	Yanlış Pozitif Oranı	Aktif Küme Büyüklüğü
Simülasyon 5	0.7	EKK	5.7472	0.28	0.80	1.00	20
		Ridge	3.5887	0.21	0.80	1.00	20
		LASSO	2.1289	0.18	0.35	0.44	11
		Elastik Net	2.9636	0.19	0.60	0.75	16
		Uyarlanabilir LASSO	1.4091	0.16	0.13	0.16	6.5
	0.9	EKK	5.7427	0.29	0.80	1.00	20
		Ridge	2.6341	0.14	0.80	1.00	20
		LASSO	1.9799	0.15	0.33	0.38	10
		Elastik Net	2.3163	0.12	0.65	0.81	17
		Uyarlanabilir LASSO	2.0179	0.21	0.23	0.25	7
Simülasyon 6	0.7	EKK	5.7449	0.28	0.50	1.00	20
		Ridge	4.5364	0.27	0.50	1.00	20
		LASSO	3.6415	0.22	0.30	0.60	16
		Elastik Net	4.1278	0.28	0.45	0.90	19
		Uyarlanabilir LASSO	3.4314	0.25	0.15	0.30	13
	0.9	EKK	5.7202	0.28	0.50	1.00	20
		Ridge	2.9387	0.08	0.50	1.00	20
		LASSO	3.4245	0.17	0.30	0.60	15
		Elastik Net	2.9464	0.09	0.50	1.00	20
		Uyarlanabilir LASSO	4.5968	0.30	0.25	0.40	13

Simülasyon Çalışması 5-6'da ridge, LASSO ve elastik net yöntemleri ile elde edilen TMSE değerlerinin kutu grafikleri Şekil 3'te verilmiştir. LASSO, iki simülasyon çalışmasında da en iyi performansı göstermiştir. Kutu grafikleri, Tablo 2'den elde edilen sonuçları desteklemektedir.

Şekil 4, Simülasyon Çalışması 5-6'daki her bir tahmin edicinin katsayı izleri grafiğini göstermektedir. Bu şekilde değişken seçimi yapabilen yöntemlerin değişkenleri modele alma düzenleri görülmektedir. Elastik netin değişken seçme özelliği dışında ridge regresyon ve elastik net, benzer bir yapı göstermektedir. LASSO ve uyarlanabilir LASSO'nun sıfır değerli katsayıları belirleme düzenlerindeki farklılık görülmektedir.



Şekil 3. Simülasyon 5-6 için tahmin edicilerin test kümesindeki MSE değerlerinin kutu grafikleri.



Şekil 4. Simülasyon 5-6 için tahmin edicilerin katsayı izleri grafikleri.

IV. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada doğrusal regresyon modellerinde gerçek katsayı vektörünün yapısına bağlı olarak konveks cezalı regresyon yöntemlerinin model performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Modelin yapısına bağlı olarak otomatik değişken seçimi yapabilen LASSO, elastik net ve uyarlanabilir LASSO yöntemlerinin birbirine ve ridge regresyona göre üstün veya zayıf olduğu durumlar incelenmiştir. Karşılaştırma kriteri olarak kullanılan TMSE, yanlış sınıflama oranı, yanlış pozitif oranı ve aktif küme büyüklüğü ölçülerine göre cezalı regresyon yöntemleri klasik EKK tahmin edicisine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Cezalı regresyon yöntemlerinin kendi içindeki üstünlüğü modelin seyreklik düzeyi ve sıfırdan farklı katsayı değerlerinin konumuna bağlı olarak değişmektedir.

Çalışmanın simülasyon sonuçları LASSO, elastik net ve uyarlanabilir LASSO yöntemlerinin farklı yapılar da seyreklik gösteren modellerde tahmin konusunda başarılı olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Montgomery, D. C., Peck, E. A. & Vining, G. G. (2021). *Introduction to linear regression analysis*, John Wiley & Sons.
- [2] Hoerl, A. E. & Kennard, R. W. (1970). Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics*12 (1), 55-67.
- [3] Rao, C. R. & Toutenburg, H. (1995). *Linear models*, Springer.
- [4] Sarkar, N. (1992). A new estimator combining the ridge regression and the restricted least squares methods of estimation. *Communications in statistics-theory and methods*21 (7), 1987-2000.
- [5] Kaçiranlar, S., Sakalhoğlu, S., Akdeniz, F., Styan, G. P. & Werner, H. J. (1999). A new biased estimator in linear regression and a detailed analysis of the widely-analysed dataset on Portland cement. *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics, Series B*, 443-459.
- [6] Özkale, M. R. & Kaçiranlar, S. (2007). The restricted and unrestricted two-parameter estimators. *Communications in Statistics-Theory and Methods*36 (15), 2707-2725.
- [7] Miller, A. (2002). *Subset selection in regression*, CRC Press.
- [8] Frank, L. E. & Friedman, J. H. (1993). A statistical view of some chemometrics regression tools. *Technometrics*35 (2), 109-135.
- [9] Tibshirani, R. (1996). Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*58 (1), 267-288.
- [10] Zou, H. & Hastie, T. (2005). Regularization and variable selection via the elastic net. *Journal of the royal statistical society: series B (statistical methodology)*67 (2), 301-320.
- [11] Zou, H. (2006). The adaptive lasso and its oracle properties. *Journal of the American statistical association* 101(476), 1418-1429.
- [12] Sirimongkolkasem, T., & Drikvandi, R. (2019). On regularisation methods for analysis of high dimensional data. *Annals of Data Science* 6(4), 737-763.
- [13] Meinshausen, N., & Yu, B. (2009). Lasso-type recovery of sparse representations for high-dimensional data. *The annals of statistics* 37(1), 246-270.
- [14] Yüzbaşı, B., Arashi, M., & Ejaz Ahmed, S. (2020). Shrinkage Estimation Strategies in Generalised Ridge Regression Models: Low/High- Dimension Regime. *International Statistical Review* 88(1), 229-251.
- [15] Ahmed, S. E., Kim, H., Yıldırım, G., & Yüzbaşı, B. (2016). High-Dimensional Regression Under Correlated Design: An Extensive Simulation Study. In *International Workshop on Matrices and Statistics* (pp. 145-175). Springer, Cham.
- [16] Shahriari, S., Faria, S., & Gonçalves, A. M. (2015). Variable selection methods in high-dimensional regression—A simulation study. *Communications in Statistics-Simulation and Computation* 44(10), 2548-2561.
- [17] Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. H., & Friedman, J. H. (2009). *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction* (Vol. 2, pp. 1-758). New York: springer.
- [18] Tibshirani, R. (1997). The lasso method for variable selection in the Cox model. *Statistics in medicine*16 (4), 385-395.
- [19] Tibshirani, R., Saunders, M., Rosset, S., Zhu, J. & Knight, K. (2005). Sparsity and smoothness via the fused lasso. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*67 (1), 91-108.
- [20] Zhao, P. & Yu, B. (2006). On model selection consistency of Lasso. *The Journal of Machine Learning Research*7, 2541-2563.
- [21] Chang, L., Roberts, S. & Welsh, A. (2018). Robust lasso regression using Tukey's biweight criterion. *Technometrics*60 (1), 36-47.
- [22] Hussami, N., & Tibshirani, R. J. (2015). A component lasso. *Canadian Journal of Statistics* 43(4), 624-646.

Araştırma Makalesi – Research Article

Ağır Ticari Araç Hidrolik Direksiyonlarında Kullanılan Burulma Millerinin Burulma Katsayılarının Deneysel Olarak Belirlenmesi

Experimental Determination of Torsional Coefficients of Torsion Shafts Used in Heavy Commercial Vehicle Hydraulic Steering

Ozan Özdemir^{1*}, İbrahim Savaş Dalmış², Sait Özmen Eruslu³

Geliş / Received: 13/09/2021

Revize / Revised: 07/03/2022

Kabul / Accepted: 04/04/2022

ÖZ

Bu çalışmada ağır ticari araç hidrolik direksiyonlarında geri toplamayı sağlayan burulma millerinin burulma katılıkları teorik, numerik ve deneysel olarak hesaplanmıştır. Numerik çalışmada ANSYS programı kullanılarak burulma milinin maksimum burulma miktarı olan 7° burulma halinde oluşan tork değeri elde edilmiştir. Tork-açı sensörü kullanılarak oluşturulan test düzeneğinde numunelerin tork-açı grafikleri elde edilmiş ve ekstrem burulma olan +/-7° aralığında burulma için burulma katsayıları deneysel olarak hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel burulma katsayısı değerleri teorik ve numerik değerler ile karşılaştırıldığında deneysel ölçüm teorik değerlere göre yüksek sonuç vermiştir. Efektif burulma katsayısının teorik değere göre yaklaşık %5 daha yüksek olduğu görülmüştür. Çalışmamızda ayrıca burulma katılığına bağlı olarak burulma doğal titreşim frekansı 5 farklı numune için teorik ve numerik olarak elde edilmiş, burulma mili rezonansının direksiyon düzeneğine etkileri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler- *Burulma Mili, SEA, Sonlu Elemanlar, ANSYS, Burulma Katsayısı*

ABSTRACT

In this study, the torsional stiffness of torsion shafts that provide recovery in heavy commercial vehicle powersteering was calculated theoretically, numerically and experimentally. In the numerical study, using the ANSYS program, the neck torque value, which is the maximum torsion amount of the torsion shaft, which is 7° torsion, was obtained. Torque-angle graphs of the samples were obtained in the test setup using the torque-angle sensor, and the torsion coefficients were experimentally calculated for torsion in the extreme torsion range of +/- 7°. When the experimental torsion coefficient values obtained were compared with the theoretical and numerical values, the experimental measurement gave higher results than the theoretical values. It has been observed that the effective torsion coefficient is approximately %5 higher than the theoretical value. In our study, torsional natural vibration frequency depending on torsional stiffness was obtained theoretically and numerically for 5 different samples, and the effects of torsion shaft resonance on the steering mechanism were discussed.

Keywords- *Torsional Shaft, FEA, Finite Element, ANSYS, Torsional Stiffness*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ozdemir.ozan187999@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-8945-9157>)

B/S/H GmbH, Kızılpınar, BSH Cd. Çerkezköy/Tekirdağ

²İletişim: idalms@nku.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4401-9155>)

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Üniversite Adı, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ

³İletişim: oruslu@nku.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-2942-378X>)

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Üniversite Adı, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ

I. GİRİŞ

Dairesel kesitli millerin burulması ve burulmadan kaynaklanan titreşimi makine ve inşaat elemanlarının projelendirilmesinde büyük önem taşımaktadır. Güç aktarma hatlarında, makine parçalarının tasarımında ve makinaların işlevlerinin uygulanma imkânı olan bölümlerinde; imkanlar dahilinde mümkün olduğu kadar dönme hareketi yapabilen eleman ve parçalar kullanılmaya çalışılmaktadır [1]. Literatürde burulmaya maruz kalan elemanlar üzerinde yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Wu ve ark. yüksek gerinim aralığında alüminyumun burulması üzerinde çalışmışlardır. Yüksek saflıkta dökme ve çekme alüminyum malzeme üzerinde testler gerçekleştirmişlerdir [2]. Stanzl-Tschegg ve ark. malzemelerin burulma yükleri altında yorulma özelliklerini tespit edebilmek adına yeni bir deneysel ekipman ve metod geliştirmişlerdir [3]. Baranoğlu yüksek lisans tezinde statik burulmanın aşırı çekilmiş çelik tellerin mekanik özelliklere etkisini incelemiştir [4]. Mutasher çalışmasında hibrid alüminyum/kompozit milin maksimum burulma kapasitesini araştırmak için ANSYS programında sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanmıştır [5]. Uymaz ve ark. direksiyon kutularında burulmaya bağlı titreşim etkilerinin azaltılması için giriş mili ve burulma milinin doğal frekanslarını düşürmek üzere bir yöntem önerisinde bulunmuştur [6]. Akın gerçekleştirmiş olduğu yüksek lisans çalışmasında kardan şaftların statik yorulma testlerinin gerçekleştirilebilmesi için hidrolik bir burulma test tezgâhı tasarlamıştır [7]. Patil ve ark. sonlu elemanlar yöntemi kullanarak kompozit burulma millerinin burulma ile bel verme (torsionalbuckling) mekanizmalarını araştırmışlardır. Çalışmalarında hem analitik hem de ANSYS programı ile sonlu elemanlar metodu kullanmışlardır [8].

Direksiyon sistemleri, araçlarda tekerlerin ve dolayısıyla aracın yönünü kontrol etmek amacı ile kullanıldığından taşıt içerisindeki yolcuların güvenliğini çok yakından etkileyen bir sistemdir. Ayrıca yol-sürücü arasındaki etkileşimde de büyük rol oynayan bir sistem olduğundan dolayı, sürüş konforunu da doğrudan etkiler. Sürüş konforu ve güvenliği kapsamında direksiyon sisteminden beklenen özellikler, direksiyonun istenen yöne kolaylıkla yönlendirilebilmesi, dar ve virajlı yollarda kolay ve güvenli bir dönüş yapabilmesi için iyi bir manevra kabiliyetine sahip olması, direksiyon simidini çevirmek için gereken kuvvetin uygun olması (araç hızlı giderken simidi çevirmek zor, araç dururken veya yavaş giderken kolay), direksiyon simidinin dönüşlerden sonra kendi kendini toplayarak orta konuma gelebilmesi, bozuk yol yüzeylerinden kaynaklanan darbelerin direksiyon hâkimiyetini en az düzeyde engelleyerek güvenli sürüşe engel olmaması, şeklinde sıralanabilir.

Direksiyon davranışının müşteriler üzerinde doğrudan etkisi vardır. Aracın karakterinin algılanması, direksiyon simidi sürüş durumu hakkında bilgi sağlar; bu nedenle direksiyon sistemi, sürücünün rehberlik davranışını doğrudan etkiler[9]. Bu alanda literatürde yapılmış çalışmalar mevcuttur. Johannesson ve Lillberg elektronik dümenleme sistemlerinde farklı kontrol stratejilerinden faydalanarak araç dinamiği, direksiyon torku ve direksiyon simidi açısı gibi değişkenler arasındaki transfer fonksiyonlarını elde etmişlerdir [10]. Data ve ark. elektronik ve hidrolik dümenleme sistemlerinin araç üzerinden demontajına gerek duyulmadan sistem parametrelerinin tayin edilmesini sağlamak üzere bir test sistemi oluşturarak dümenleme oranı, karakteristik eğri, sürtünme kuvvetleri dümenleme oranı gibi parametrelerin tespitini yapmışlardır [11]. Hidrolik direksiyon sistemlerinde kullanılan burulma milleri direksiyonun dönme hareketi sırasında burulma yayı görevi görerek enerjisi depolar ve direksiyonun geri toplanmasını sağlar. Bu anlamda kullanılacak olan burulma mili seçilirken burulma katsayısının doğru bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Elektrohidrolik direksiyon sistemlerinde stabilitede önemli bir faktördür, stabilite sorunları direksiyon geri dönüşleri sırasında sınırlı döngüye sebep olabilir bu limitli döngü sistemde titreşim ve gürültü problemleri çıkartır [12]. Elektrohidrolik direksiyon sistemlerinde kritik direksiyon açısı ve burulma çubuğunun tork sönümleme oranı arasındaki ilişki Kurishige ve ark. tarafından ortaya konulmuştur [13]. Direksiyon sistemlerinde stabilite, direksiyonu tekerleğe bağlayan düzenek üzerinde direksiyon simidi, burulma yayı, tekerlek ve düzenek üzerinden veriler alınarak fonksiyonel modelleme teknikleri kullanılarak saptanır. Direksiyon sistemlerinde stabilite ve titreşim problemlerini ortaya koyan, direksiyon davranışını belirleyen temel testlerden birisi direksiyon histerisiz eğrileridir [14]. Histerisiz eğrileri direksiyona gelen tork ve direksiyon geriye dönme açısına göre çizilmekte olup, dönme yönünün değişimine bağlı tork-açı değişimi stabilitede belirleyici etkilerdendir. Son yıllarda elektro hidrolik direksiyon sistemlerinde sensörler yardımıyla yol koşullarına göre geri besleme sağlanarak direksiyon tork-açı değerlerinde optimizasyon sağlayan ve güvenlik seviyesini arttıran çalışmalar yapılmaktadır [15].

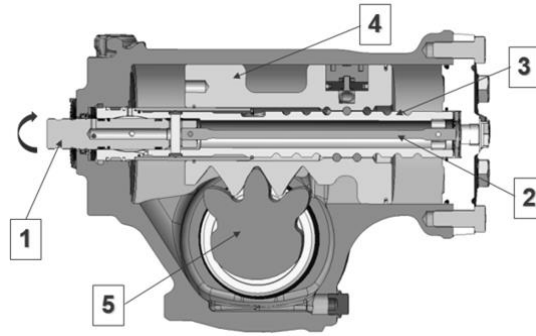
Hidrolik direksiyon sistemlerinin birçok avantajı vardır, ancak hidrolik ve mekanik bileşenler arasındaki bağlantıyla ilgili çözülmüş gürültü ve titreşim sorunları vardır. Matematiksel modelleme ve simülasyon, titreşim sorunlarını anlamak ve sistem performansını iyileştirmek için etkili bir araçtır [16].

Bu çalışmada ağır ticari araçlarda kullanılan hidrolik direksiyonların burulma millerinin burulma katsayılarının deneysel olarak tespit edilebilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemden elde edilen sonuçlar teorik ve SEA(Sonlu Elemanlar Analizi) ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak yöntemin çalışma başarısı değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen burulma katlıklarından yola çıkarak burulma millerinin doğal frekansları teorik ve SEA yardımıyla belirlenmiş, test edilen numunelerin titreşim davranışları da irdelenmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

A. Test numuneleri

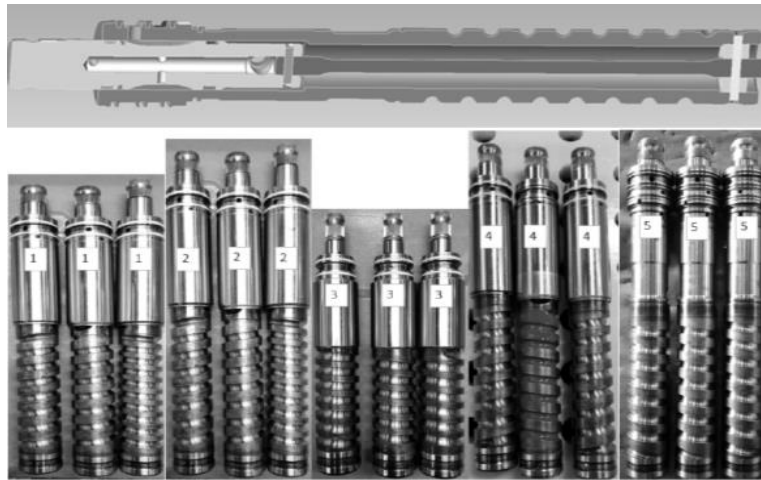
Burulma mili bir tarafından hidrolik direksiyonun giriş miline, diğer ucundan ise sonsuz vidalı mile montajlanmış bir şekilde kullanılmaktadır. Kullanılan numunelerin hidrolik direksiyon kutularındaki yer ve işlevlerinin daha net anlaşılması için Şekil 1'de hidrolik direksiyon kesiti üzerinde burulma mili, giriş mili ve sonsuz vidalı mil ve direksiyonun diğer bileşenleri ile aralarındaki bağlantı gösterilmiştir.



Şekil 1. Hidrolik Direksiyon kesit görünümü (1: Giriş mili, 2: Burulma Mili, 3: Sonsuz Vidalı Mil, 4: Piston, 5: Sektör Mili)

Şekilde gösterilen giriş mili, ilk hareketin verildiği dairesel hareket yapan ekipmanı, burulma mili, ilk hareketin verilmesi ile birlikte 7° 'ye kadar burulmaya maruz kalan ekipmanı göstermektedir. Sonsuz vidalı mil ise pistonun aksenal hareketini sağlayan elemanı, piston, mekanik hareket ve hidrolik basınç desteği ile birlikte aksenal hareket yapan elemanı tahrik etmektedir. Sektör mili, pistondan aldığı aksenal hareketi dairesel harekete çevirerek tekerleklerle güç ve hareket ileten bileşeni göstermektedir.

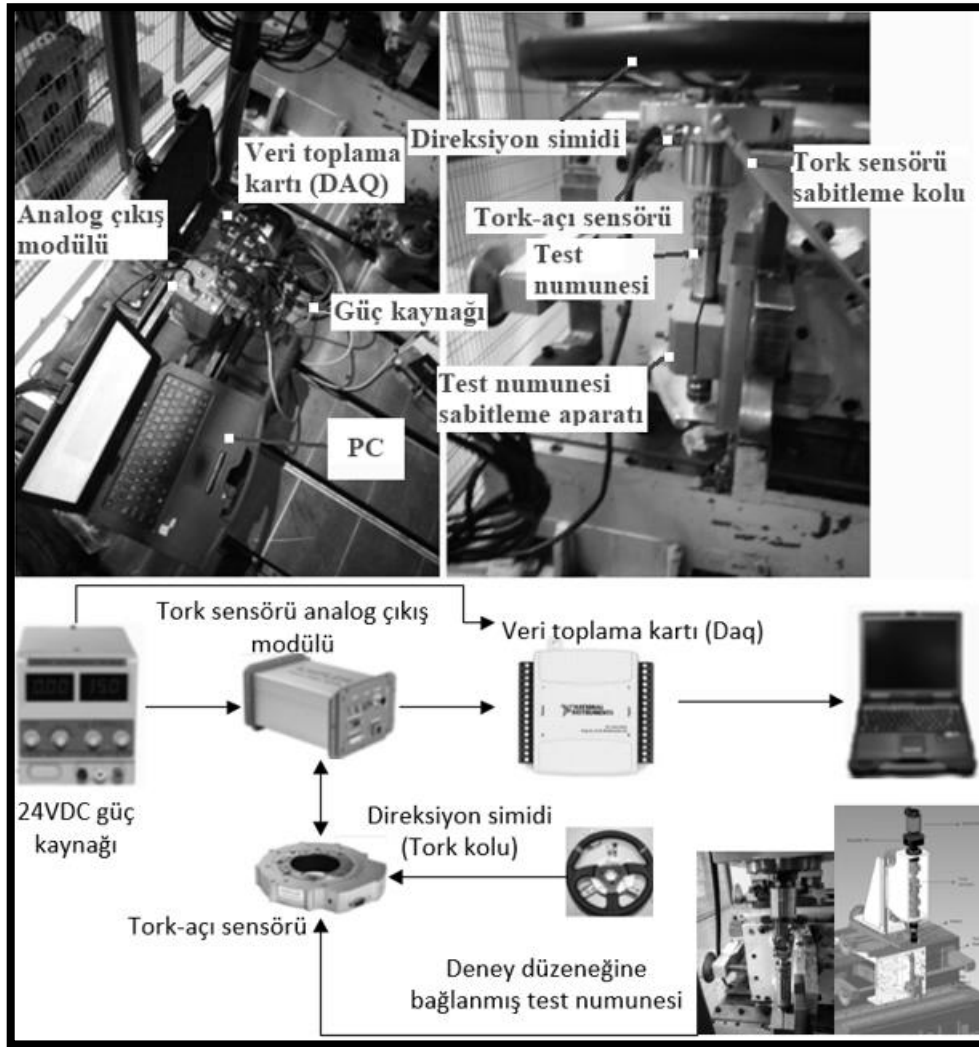
Test numunesi olarak hesaplamalarda ve deneylerde, Şekil 2'deki kesit görünüşü verilen, hidrolik direksiyonlarda kullanılan 5 adet farklı boy ve çap ölçülerinde burulma milleri kullanılmıştır. Test numuneleri uç kısımlardaki geniş çaptan bir tarafı mafsala bir tarafı da düzeneğin sabit kısmına kenetlenerek teste tabi tutulmuşlardır.



Şekil 2. Test numunesi kesit görünümü ve test numuneleri

B. Test düzeneği

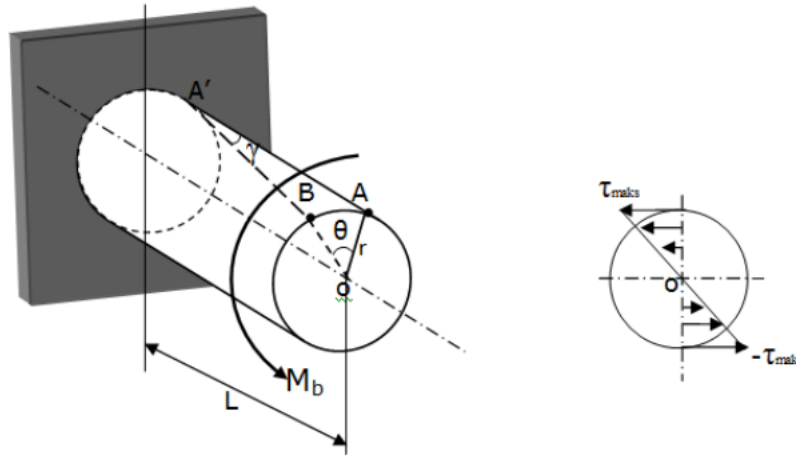
Burulma millerinin burulma katsayılarının deneysel olarak ölçülebilmesi için Kistler marka tork-açı sensörü kullanılan bir düzenek oluşturulmuştur. Test düzeneğinin şematik görünümü, düzeneği oluşturan bileşenler ve düzenek kurulumu Şekil 3'te görülmektedir. Tork-açı sensörü bir tarafından mil bağlantı aparatı ile giriş miline bağlanmakta, diğer tarafına ise döndürme hareketini sağlamak için 50 cm çapındaki direksiyon simidi ara bağlantı aparatları yardımı ile bağlanmaktadır. Sensörün gövdesinin hareketi, sabitleyici bir kol ile kısıtlanarak sensör sabitlenmektedir. Sensör ölçümleri NI veri toplama (DAQ) kartında toplanarak çevirici aracılığı ile bilgisayara aktarılmakta ve Labview görsel programlama programı ile yazılan program ara yüzünden ölçümler okunmaktadır.



Şekil 3. Deney düzeneği ve şematik gösterimi

C. Teorik model

Burulma testine tabi tutulan numunenin üzerinde meydana gelen yükler ve kesit üzerinde meydana gelen kayma gerilmeleri, Şekil 4'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Burulma deneyinin şematik gösterimi ve kesit üzerinde oluşan kayma gerilmeleri [17]

Teorik olarak “L” uzunluğunda içi dolu bir milin üzerine Mb burulma momenti uygulanarak, burulma başlangıcında A-A’ kesiti θ° kadar burulmanın sonunda A noktasına gelerek, B-A’ şeklini alır. A noktasının B noktasına olan hareketinin sonucunda O merkezine göre olan konumları arasında taranan açı burulma açısı(θ) ve A-A’ kesiti ile A’B kesiti arasında oluşan açı ise kayma açısı (γ) olarak ifade edilir. Milin deformasyonu sırasında maksimum kayma gerilmesi(τ_{max}) dış yüzeyde bulunan lifler üzerinde eşit ve zıt yönlerde meydana gelirken kayma gerilmesi milin merkezine doğru gittikçe lineer bir şekilde azalır ve merkezde sıfıra eşit olur [17].

Silindirik r yarıçapında bir numune de burulma momenti neticesinde meydana gelen kayma gerilmesi (τ) Hooke kanunundaki temel kayma gerilmesi yaklaşımı dikkate alarak Denklem (1) ile hesaplanabilir.

$$\tau = \frac{M_b r}{J} = G \gamma \quad (1)$$

Burada (τ) Kayma gerilmesi, (M_b) burulma momenti, (r) kayma gerilmesinin olduğu yarıçapı, (J) polar atalet momentini, G kayma elastisite modülünü, γ kayma genlemesini göstermektedir.

Bu denklemde kayma genlemesi Şekil 3’te gösterilen burulma açısı, numune yarıçapı ve numunenin boyu cinsinden Denklem (2)’de yer alan formülle tanımlanabilir.

$$\gamma = \frac{r}{L} \cdot \theta \quad (2)$$

Bu iki denklemden yararlanarak polar atalet momentini silindirik dolu kesitler için tanımlanır, tork değeri burulma katılığını bağlı olarak Denklem (3) ve Denklem (4)’teki formüllerle saptanır.

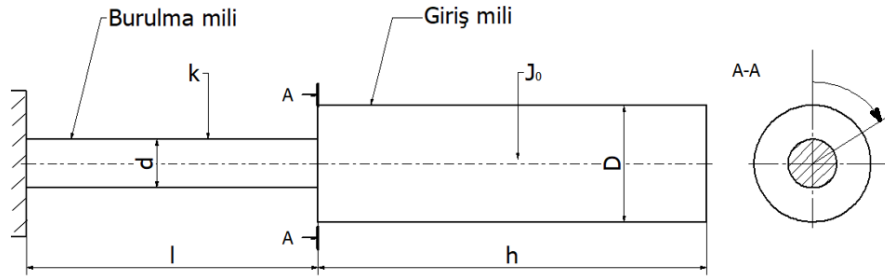
$$k = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot G}{32 \cdot L} \quad (3)$$

$$M_b = \theta \cdot k \quad (4)$$

Burada (k) burulma katılığını tanımlamaktadır.

Dairesel kesitli millerin burulması ve burulmadan kaynaklı titreşimler önemlidir. Burulma katılığını belirlediğimiz burulma mili, tekerleğe bağlı bir düzenek içerisinde çalıştığı için tekerlek kaynaklı burulma titreşimlerine maruz kalmaktadır. Burulma milinin doğal frekanslarının tespitiyle burulma miliyle direk temas halinde olan direksiyon simidinde gelen burulma titreşimlerine bağlı rezonans problemlerine önlem alınabilir. Bu sebeple çalışmada burulma milinin doğal frekansı teorik ve sonlu elemanlar analizi kullanılarak belirlenmiştir.

Burulma frekansı bulunurken direksiyon dişli kutusunun içinde burulma titreşimine en çok etki ettiği düşünülen burulma mili ve giriş mili bir serbestlik dereceli bir burulma sarkacı olarak en basit haliyle, Şekil 5’teki gibi modellenmiştir [6].



Şekil 5. Burulma mili ve giriş milinin burulma sarkacı şematik gösterimi

Basit hale indirgenmiş modelin doğal frekansı Denklem (5) ile tanımlanabilir.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{J_0}} \quad (5)$$

Burada k burulma katılığı, D şekilde belirtilen giriş mili çapı, J_0 milin kutupsal kütle eylemsizlik momentidir ve Denklem (6) ile tanımlanmıştır.

$$J_0 = \frac{\rho h \pi D^4}{32} = \frac{W D^2}{8g} \quad (6)$$

Burada ρ giriş mili yoğunluğunu, h giriş mili uzunluğunu, W burulma sarkacı ağırlığını g öz kütleyi tanımlamaktadır.

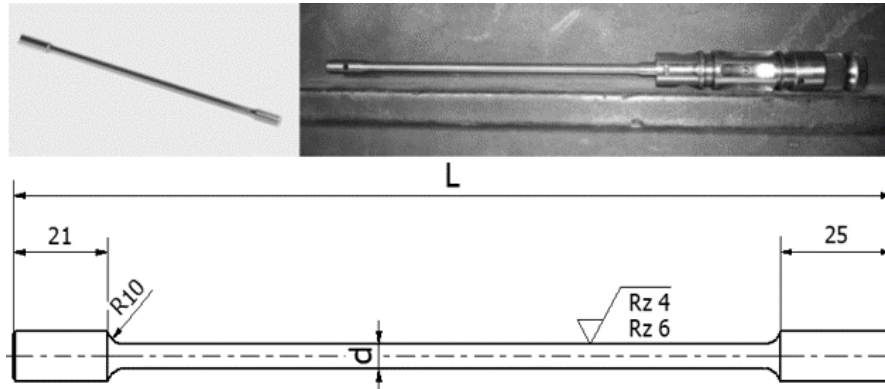
Test edilen burulma millerinin malzemesi 51CrV4 çelik olup burulma katılığı ve burulma frekansı hesaplamalarında malzeme özellikleri olarak aşağıdaki değerler kullanılmıştır.

Elastisite Modülü $E=205$ GPa, Poisson Oranı $\nu=0.28125$, Kayma Elastisite Modülü $G=79.98$ GPa, Özgül ağırlığı $\rho=7850$ kg/m³.

D. Sonlu Elemanlar Analizi

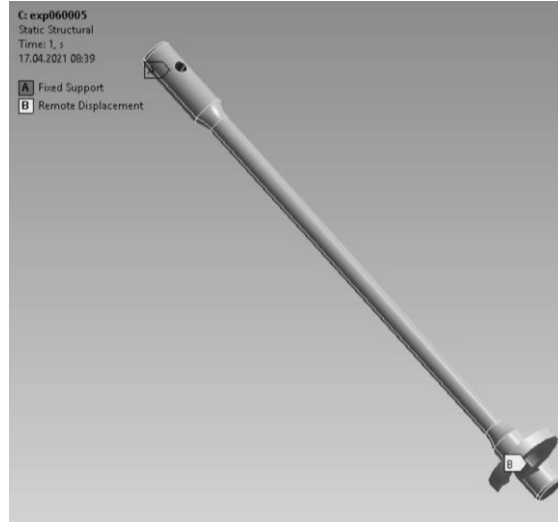
Yapısal Analiz (1):

Teorik modelde hidrolik direksiyon sistemine ait burulma milinin ANSYS V19.1 kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile yapısal ve doğal titreşim analizi yapılmıştır. Yapısal analiz sonucunda burulma mili üzerinde oluşan burulma momenti belirlenerek yay katsayıları hesaplanmıştır. Modeli sadeleştirmek adına Şekil 6'da görülen giriş mili ve burulma milinden oluşan bütüne, giriş milinden gelen hareket, burulma mili üzerinde oluşan açısaldelasman olarak modellenmiştir.



Şekil 6. Burulma mili (Sol üst), sonsuz vidalı milin içindeki giriş mili ve burulma mili kompleksi ölçüleri (Sağ üst) ve burulma mili ana ölçüleri (Alt)

Burulma milinin sınır koşulları Şekil 7'de gösterilen pim deliğinden sabit destek olarak ve diğer ucundan 7°'lik burulma açısı deplasman olarak belirlenmiştir. Modelde analiz sonucunda tork değerleri sabit mesnet noktasından mesnet tepkileri bulunarak belirlenmiştir.

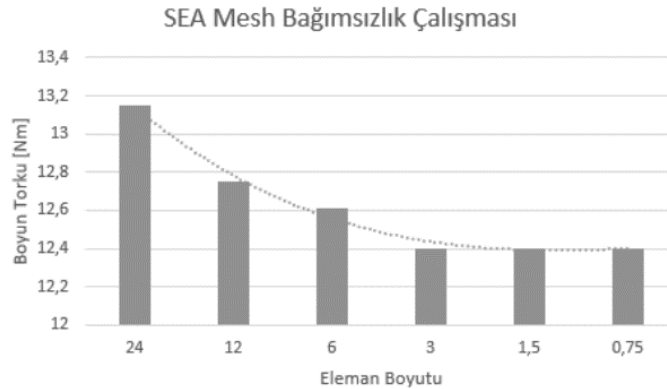


Şekil 7. 1 numaralı numune için sınır koşulları

Analiz için yeterli olacak düğüm ve eleman sayısına karar vermek için 2 numaralı numune kullanılarak eleman boyutu üzerinden mesh bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Yapılan yakınsama çalışması sonucunda 1.5mm ve 3mm eleman boyutları arasında %0.001'lik bir bağıl fark gözlenmiştir. Aynı hesaplama eleman boyutu 0,75mm için yapıldığında bir önceki hesaplama göre (1.5mm eleman boyutu) tork değerinde hiçbir değişim olmadığı görülmüştür. Çözümleme süresi dikkate alınarak hesaplamaların yapılması için 1.5 mm eleman boyutu alınmasının uygun olacağına karar verilmiştir. Eleman boyutu 1.5 mm alınarak sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen mesh bağımsızlık çalışmasında seçilen eleman boyutuna göre hesaplanan tork'un değişimi Tablo 1 ve Şekil 8'de görülmektedir.

Tablo 1. SEA mesh bağımsızlık çalışması adımları

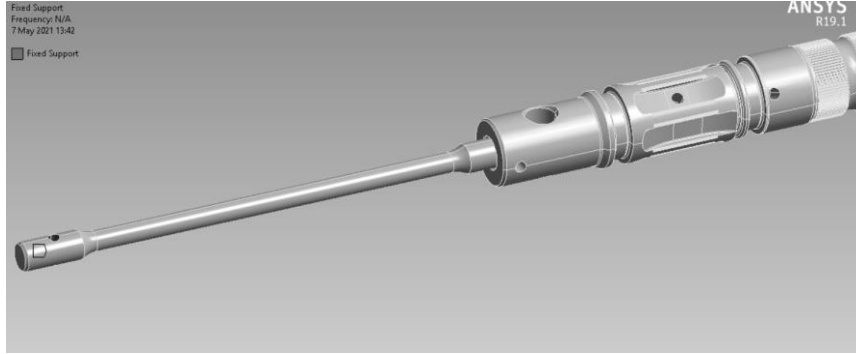
Eleman Boyutu [mm]	Düğüm Sayısı	Eleman Sayısı	Tork [Nm]	Bağıl Fark (%)
24	12908	7727	13.15	-
12	15584	9260	12.74	%3.054
6	19622	11811	12.60	%1.091
3	24460	14754	12.40	%1.647
1.5	70215	45488	12.40	%0.001
0.75	394658	273088	12.40	-



Şekil 8. SEA mesh bağımsızlık çalışmasının grafik olarak gösterimi

Doğal Titreşim Analizi (2):

Sonlu elemanlar analiz programı AnsysV19.1 kullanılarak doğal titreşim analizi gerçekleştirilmiştir. Teorik modelde gösterilen burulma sarkacı numerik modelde burulma mili ile giriş milinin birleşme noktalarından yekpare birleşik bağlanarak modellenmiştir. Sınır koşulu olarak burulma milinin pim bağlantı deliği Şekil 9'de gösterildiği gibi sabitlenmiştir. Burulma mili ve giriş mili malzemesi olarak ise çalışmamızda burulma katılığı belirlenmiş olan malzeme özellikleri kullanılmıştır. Analizde ilk 6 doğal titreşim modu çözdürülmüştür. Burulma titreşimini gösteren mod frekans değerleri içinde 5. mod olarak tespit edilmiştir.

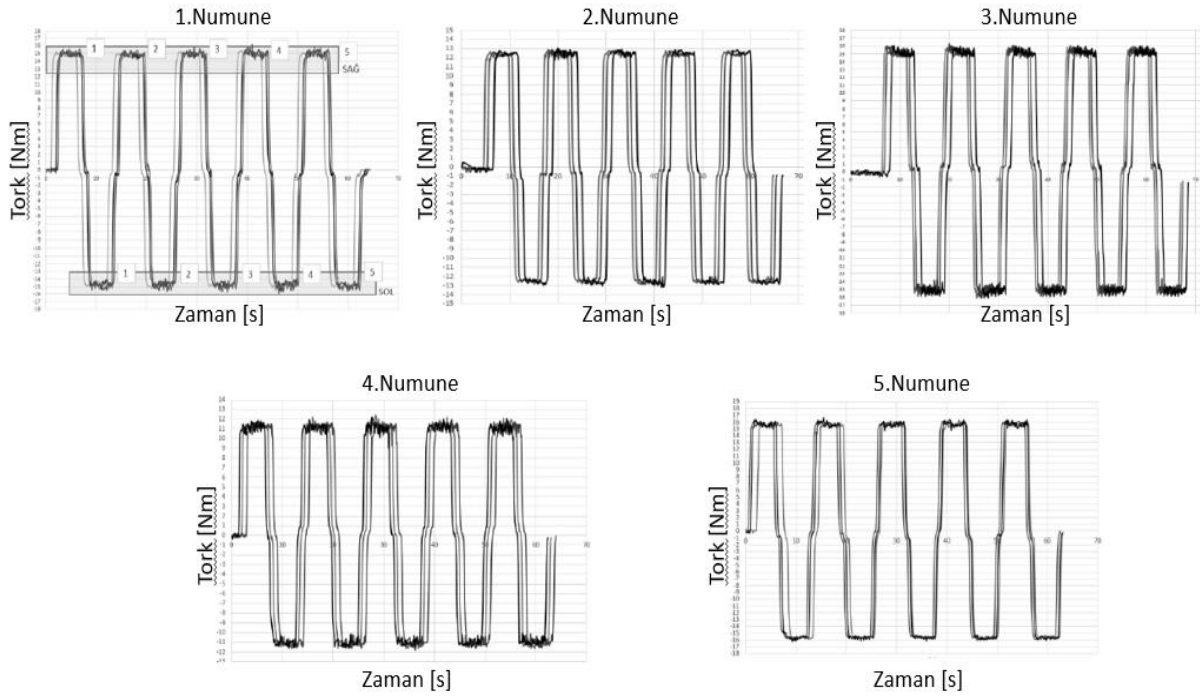


Şekil 9. Burulma sarkacı modeli sabitleme noktası

III. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

A. Test düzeneği ile burulma katsayısının belirlenmesi

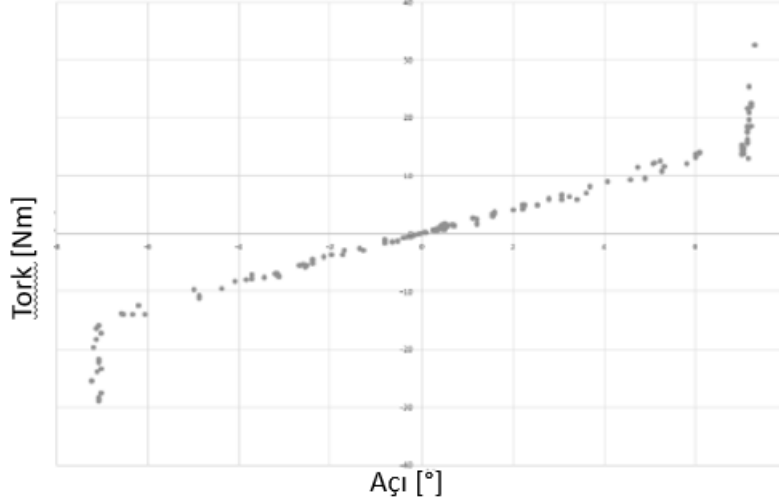
Çalışmada Şekil 2'de gösterilen 5 farklı numune kullanılmıştır. Her numuneden 3 örnek ve 5 tekrar olacak şekilde testler gerçekleştirilmiştir. Şekil 10'da test düzeneğinde burulma deneyleri yapılan numunelerden elde edilen tork zaman grafikleri sunulmuştur. Grafiklerdeki her renk bir numuneyi temsil etmektedir.



Şekil 10. Test numunelerinin ölçülen zamana bağlı tork değişimi grafikleri

Tork-açı sensörü ölçümü sırasında kaydedilen tork ve açı değerleri ile Şekil 11'de gösterilen grafik oluşturulmuştur.

Numune 1 Tork-Açı Sensörü ölçümü [-7°/7°]



Şekil 11. 1 Numaralı numune için tork-açı sensörü ile elde edilen veriler

Toplanan veriler değerlendirilirken burulma eğrisi orijinden geçirilerek burulma katsayısı hesaplanmıştır. Bu yöntemle burulma katsayısı hesaplanırken hidrolik direksiyonun çalışma prensibi gereği giriş mili ve burulma milinin sonsuz vidalı mil içindeki hareketi bir bükse aracılığı ile +/- 7° de sınırlandırılmaktadır. Bu nedenle ölçümde +/-7° açığı geçen değerlerde okunan tork değerleri burulma milinin döndürülmesinden değil, bükse'nin sonsuz vidalı mil içinde eğilmeye maruz kalmasından kaynaklanmaktadır. Ölçümden elde edilen veriler değerlendirilirken yalnızca +/-7° arasında kalan verilerle yeniden düzenlenmiş ve uç noktadaki değerleri hesaplamaya dahil edilmemiştir.

Orijinden geçen bir eğri Denklem (7) ile ifade edilebilmektedir. “a” ile ifade edilen eğrinin eğimi ve hesaplanan eğimin kullanılan veri setine göre göreceli hatası sırasıyla Denklem (8) ve Denklem (9) ile ifade edilmektedir [18].

$$y = ax \quad (7)$$

$$a = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} \quad (8)$$

$$\text{Eğim Hatası} = S_{0,0} \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{\sum x_i^2}} \quad (9)$$

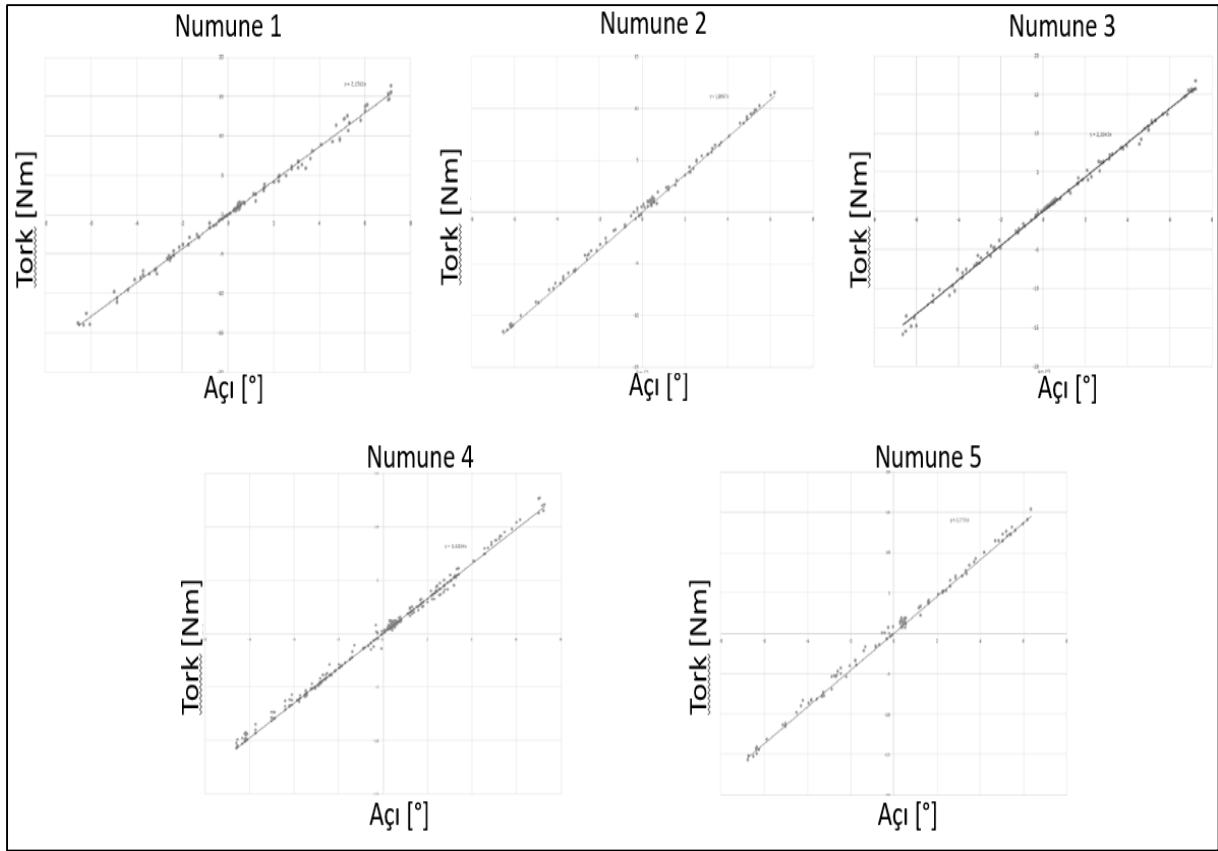
Denklem (9)'da verilen $S_{0,0}$ terimi denklemi standart sapma miktarını göstermekte olup Denklem (10)'daki şekilde ifade edilir,

$$S_{0,0} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - ax_i)^2}{n-1}} \quad (10)$$

Denklem (7)'de verilen lineer fonksiyon, testteki değişken parametreler burulma tork değeri “ M_b ”, burulma açısı “ θ ” ve burulma katılığı “ k ” cinsinden aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilebilir.

$$M_b = k\theta \quad (11)$$

Testlerden toplanan veriler; yukarıda belirtilen Denklem (10) ve Denklem (11) kullanılarak çözülmüştür. Bu yöntem kullanılarak Şekil 10'deki grafiğin +/-7° aralığına getirilmiş ve orijinden geçirilmiş hali Şekil 12'de görülmektedir. Alınan verilerden geçen eğrinin eğimi burulma katsayısına eşittir.



Şekil 12. Test numunelerinin burulma katsayısı eğrileri

Toplanmış olan veriler bir araya getirilerek burulma katsayısı ve tork belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Çalışmada her bir numune için örnek sayısı 3 tekrar sayısı 5’tir. Tabloda örneklemeler arasındaki standart sapma verilmiştir.

Tablo 2. Deney düzeneği ile hesaplanan burulma katsayısı ve tork değerleri

Numune Numarası,	Çap, Ø d [mm]	Efektif Uzunluk, L [mm]	Burulma Katsayısı, k [Nm/°]	+7°/7°’de Ortalama Tork [Nm]	Tork Ölçümlerinde Ortalama Standart Sapma (%)
1	Ø6.8	138.8	2.12	14.85	7.5
2	Ø7	185.4	1.78	12.48	7.7
3	Ø6.4	106.8	2.16	15.16	5.6
4	Ø6.8	185.4	1.59	11.13	8.0
5	Ø7.4	185.4	2.23	15.63	4.7

B. Teorik Model ile Burulma Katılığı ve Burulma Frekansının Belirlenmesi

Teorik modele göre burulma katılığı, numune geometrik ölçüleri Tablo 3’te verilmiştir. Burulma frekansı hesaplamalarında kütle ve kütle eylemsizlik moment değerleri Tablo 4’ de verilmiştir.

Malzeme özelliklerinde verilen kayma elastisite modülü (G) ve Tablo 3’te verilen numune boyutları Denklem (3)’de kullanılarak burulma katılıkları hesaplanmıştır. Burulma frekansları, elde edilen burulma katılıkları ve kütleli parametrelerin Denklem (5)’te kullanılmasıyla hesaplanmış, her bir numune için Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 3. Matematiksel modele göre hesaplanan teorik burulma katsayısı değerleri

Numune Numarası	Çap (d), [mm]	Efektif Uzunluk, L [mm]	Teorik Burulma Katsayısı, k [Nm/°]	Tork (7°) [Nm]
1	Ø6.8	138.8	2.11	14.78
2	Ø7.0	185.4	1.78	12.42
3	Ø6.4	106.8	2.15	15.06
4	Ø6.8	185.4	1.58	11.06
5	Ø7.4	185.4	2.22	15.52

Tablo 4. Matematiksel modele göre hesaplanan teorik burulma titreşimi değerleri

Numune numarası,	Çap, D[mm]	Kütle, m[kg]	Jo[kgm ²]	k[Nm/rad]	fn[Hz]
1	26	0.376	3.1810-5	120.89	310.45
2	26	0.376	3.1810-5	101.98	285.14
3	21	0.210	1.1610-5	123.19	519.17
4	26	0.376	3.1810-5	90.53	268.65
5	26	0.376	3.1810-5	127.20	318.44

Tablo 4 ve hesaplamalarda kullanılan denklemler incelendiğinde; burulma katılığının burulma mili çapı ve uzunluğuna bağlı olarak değişim gösterdiği, burulma katılığı değeri düşüktüçe burulma frekanslarının da düştüğü görülmektedir.

C. Sonlu Elemanlar Analizi Kullanılarak Burulma Katılığı ve Burulma Frekansının Belirlenmesi

Tablo 5 'de 5 farklı numune için 7°'lik burulma açısı değişimine bağlı olarak mesnet noktasından belirlenen tork değerleri ve burulma milinde oluşan maksimum gerilme değerleri verilmiştir. Belirlenen tork değerleri denklem 4' de kullanılarak, Tablo6'da verilen burulma katılıkları elde edilmiştir.

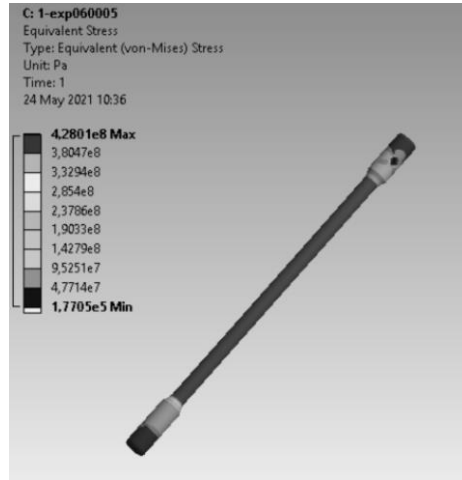
Tablo 5. SEA Mesh bilgileri ve analiz sonuçları

Numune Numarası	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı	Maksimum Von-Mises Gerilmesi [MPa]	Maksimum kayma Gerilmesi [MPa]	Tork [Nm]
1	39813	61186	428.01	247.1	14.65
2	45488	70215	330.82	191.0	12.40
3	18246	29144	535.91	309.4	15.30
4	43968	67803	320.78	185.2	10.99
5	43998	67119	343.95	198.5	15.19

Tablo 6. SEA ile hesaplanan burulma katsayısı değerleri

Numune Numarası	Çap, Ø [mm]	Efektif Uzunluk, L [mm]	SEA Burulma Katsayısı, k [Nm/°]	Tork(7°) [Nm]
1	Ø6.8	138.8	2.09	14.65
2	Ø7	185.4	1.77	12.40
3	Ø6.4	106.8	2.19	15.31
4	Ø6.8	185.4	1.57	10.99
5	Ø7.4	185.4	2.17	15.19

1 nolu numune için burulma milinde VonMises gerilme dağılımı Şekil 13'te verilmiştir. Burulma mili malzemesi (51CrV4) akma mukavemeti 700MPa olup, maksimum VonMises akma gerilmesi değerlerine bakıldığında burulma yayının elastik bölgede zorlandığı görülmektedir.



Şekil 13. 1 nolu numune için VonMises gerilmesi

Burulma katlıkları belirlenen numunelerin yapısal analizi sonrasında doğal titreşim analizi frekans sonuçları Şekil 5'te gösterilen basit sarkaç modelinde sınır koşulları uygulanarak belirlenmiştir. Şekil 14'te 1 numaralı numunenin burulma doğal frekansı 5. mod için elde edilen mod şekli verilmiştir.



Şekil 14. 1 numaralı numunenin burulma doğal frekansı mod şekli

Elde edilen burulma titreşim doğal frekansları, 5 farklı numune için Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. SEA kullanılarak elde edilen burulma frekansı değerleri

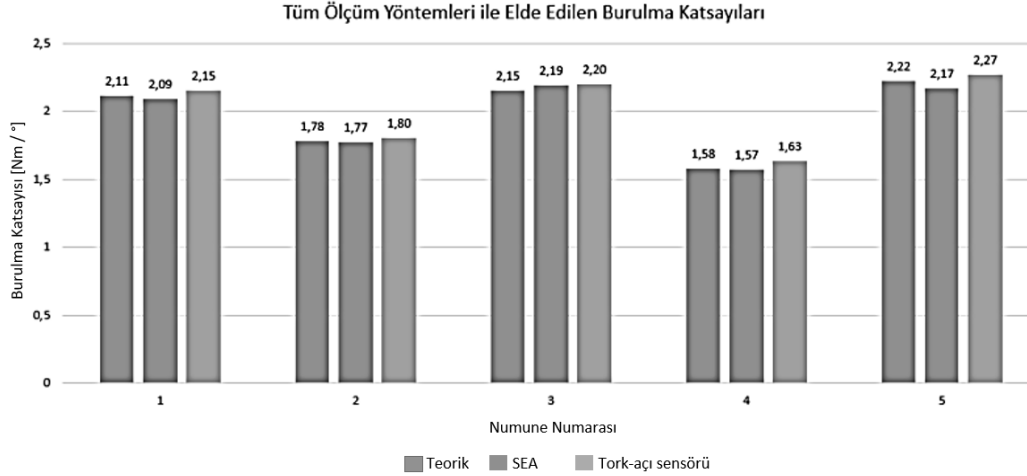
Numune	Düğüm sayısı	Eleman Sayısı	f_n [Hz] (SEA)
1	293808	181936	302.77
2	291531	182527	276.64
3	332090	209642	517.98
4	293789	183994	261.96
5	290428	181914	307.46

Sonlu elemanlar modeli kullanılarak belirlenen burulma frekansı değerleri teorik frekans değerlerine yakın sonuçlar vermiştir. Burulma frekansı değerleri burulma mili uzunluğu, tasarım ve kütsel değişimlere bağlı olarak 260-520 Hz frekans aralığında değişim göstermektedir. Burulma ve giriş mili direksiyon simidiyle direk temas halinde olduğu için burulma mili titreşim karakteristiği direksiyon ünitesi titreşim davranışını değiştirecektir.

D. Deneysel, Analitik ve Numerik Burulma Katlıklarının Karşılaştırılması

Şekil 15'te tüm yöntemler ile elde edilen ortalama burulma katsayıları grafik şeklinde gösterilmiştir. Burada ilk göze çarpan deneysel yöntemde analitik ve numerik yöntemlere göre daha yüksek burulma katsayısı

ölçülmüştür. Numerik yöntem ve analitik yöntemin sonuçları birbirine oldukça yakındır. Deneysel yöntem ile analitik ve numerik yöntem arasındaki mutlak hata en düşük 2 numaralı numune içindir. En yüksek mutlak hata ise 1., 3., 4., 5. numunelerde ortalama %5-8'dir. Teorik hesaplanan burulma katsayısına göre SEA ve deneysel hesaplanan burulma katsayılarının göreceli hataları Tablo 8'de verilmiştir. Teorik yöntemden sapmalar %1-%3 arasında değişmektedir.



Şekil 15. Analitik, numerik ve deneysel yöntemlerle elde edilen burulma katsayılarının karşılaştırılması

Tablo 8. Burulma katsayısı için kullanılan metotların teorik değere göre sapmaları

Numune Numarası	Çap, Ø d [mm]	Efektif Uzunluk, L [mm]	Teorik Burulma Katsayısı, k [Nm/°]	SEA Burulma Katsayısı, k [Nm/°]	SEA-Teorik değer arasındaki bağıl fark	Deneysel burulma katsayısı, k [Nm/°]	Deneysel-Teorik değer arasındaki bağıl fark
1	Ø6.8	138.8	2.11	2.09	0.9%	2.15	1.9%
2	Ø7.0	185.4	1.78	1.77	0.6%	1.8	1.1%
3	Ø6.4	106.8	2.15	2.19	1.9%	2.2	2.3%
4	Ø6.8	185.4	1.58	1.57	0.6%	1.63	3.2%
5	Ø7.4	185.4	2.22	2.17	2.3%	2.27	2.3%

Deneysel çalışmada direksiyon ünitesinde oluşturulan burulma test düzeneğinde gerçekleştirilen ölçümlerde $\pm 7^\circ$ açısal değişimlerde sağ yönde ve sol yönde burulmalar için ortalama tork değerlerinde ortalama %1 bağıl farklar hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen ölçümlerde tekrar bazında hesaplanan ortalama değerler ile sağ ve sol yöndeki tork değişimleri ve burulma katılıkları sırasıyla Tablo 9 ve Tablo 10'da 1 no'lu numune için verilmiştir.

Tablo 9. 1 nolu numune $\pm 7^\circ$ açısal değişimlerde tork değişimi

Tekrar	Tork ($+7^\circ$) [Nm]	Tork (-7°) [Nm]	Tork ($+7^\circ$) [Nm]	Tork (-7°) [Nm]	Tork ($+7^\circ$) [Nm]	Tork (-7°) [Nm]
1.Tekrar	14.89	14.7	14.84	14.6	15	14.85
2.Tekrar	14.79	14.8	14.76	14.67	14.89	14.76
3.Tekrar	14.89	14.8	14.85	14.68	14.95	14.82
4.Tekrar	14.97	14.87	14.93	14.74	15.04	14.91
5.Tekrar	14.92	14.86	14.91	14.71	15.04	14.91
Tekrarların Ortalaması	14.89	14.81	14.86	14.68	14.98	14.85
Ortalama Ölçümler	14.85		14.77		14.92	

Tablo 10. 1 nolu numune +/-7° açısız değişimlerde burulma katılığı değişimi

Tekrar	Burulma Katsayısı (+7°) [Nm/°]	Burulma Katsayısı (-7°) [Nm/°]	Burulma Katsayısı (+7°) [Nm/°]	Burulma Katsayısı (-7°) [Nm/°]	Burulma Katsayısı (+7°) [Nm/°]	Burulma Katsayısı (-7°) [Nm/°]
1.Tekrar	2.13	2.1	2.12	2.09	2.14	2.12
2.Tekrar	2.11	2.11	2.11	2.1	2.13	2.11
3.Tekrar	2.13	2.11	2.12	2.1	2.14	2.12
4.Tekrar	2.14	2.12	2.13	2.11	2.15	2.13
5.Tekrar	2.13	2.12	2.13	2.1	2.15	2.13
Tekrarların Ortalaması	2.13	2.12	2.12	2.1	2.14	2.12
Ortalama Ölçümler		2.12		2.11		2.13

Çalışmada numunelerde tekrarlar arasındaki maksimum standart sapma oranı sağ yönlü ölçümlerdeki tork değerleri için ortalama %6, sol yönlü ölçümlerdeki tork değerleri için ortalama %5,8 bulunmuştur.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada ağır ticari araç hidrolik direksiyonlarında kullanılan burulma millerinin burulma katsayılarının deneysel olarak ölçülebilmesi için bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde tork açısı sensörü kullanılarak, tork açısı grafikleri +/-7° açısız değişimler için elde edilmiştir. Elde edilen eğrilerin eğimlerinden yola çıkarak burulma katılıkları deneysel olarak bulunmuştur. Elde edilen burulma katılıkları teorik ve numerik modellerle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

Burulma katsayısının hesaplanmasında kullanılan mukavemet hesaplamalarına dayanan teorik model, burulma katsayısını deneysel sonuçlara göre yaklaşık %5'lik bir yakınlıkla bulmaktadır. Sonlu elemanlar modeli ağ yapısı iyileştirildiğinde matematiksel modele yakın yüksek doğrulukta sonuçlar vermiştir.

Test düzeneği ile elde edilen tork açısı değişimleri her iki yöndeki gerçek direksiyon tepkilerine göre alınan ölçümler olduğu için direksiyon düzeneğiyle ilgili kayıpları da içeren daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Test düzeneği ölçümünde kullanılan numunelerin burulma katsayıları sonsuz vidalı mil ve giriş milinden demonte edilmeden ölçülmesi nedeniyle aradaki aksel eğneli yatak ve destek halkası gibi elemanların sürtünmeleri ölçümü etkilemiştir ve bu nedenle daha yüksek burulma katsayıları elde edildiği düşünülmektedir.

Tork-açısı sensörü kullanılarak oluşturulan bu test düzeneği, içindeki burulma milinin geometrik ölçümleri ve malzemesi bilinmese dahi hidrolik direksiyonun giriş mili ve sonsuz vidalı mil kompleksinin demontajına gerek kalmadan burulma milinin burulma katsayısını ölçmek için kullanılabilir.

Deneysel çalışmada her bir numune tipi için 3 örnek ve 5 tekrar gerçekleştirilmiş olup deneysel çalışmada elde edilen veriler düşük sapma oranlarında sonuçlar vermiştir. Örneklemeler arası ortalama standart sapma oranları %5-8 aralığında değişmektedir. Tekrarlar arası ortalama standart sapma oranları %5-6 aralığında hesaplanmıştır. Örneklemeler arasındaki sapmanın üretilen numunelerin tolerans değerleriyle ilgili olduğu düşünülmektedir.

Burulma mili ve giriş mili direksiyon simidine direk temas halinde olduğu için uygulamada direksiyon simidinde tekerlek kaynaklı burulma titreşimi problemleri gözlemlenmektedir. Bu sebeple burulma katılığı belirlenen burulma millerinin, burulma rezonans frekansları teorik ve sonlu elemanlar analizi kullanılarak tespit edilmiştir.

Burulma millerinin burulma frekansları tasarimsal boy ve kütle oranlarına bağlı olarak 260-520 Hz frekans aralığında elde edilmiş olup, direksiyon kutusu titreşim problemlerinde belirleyici etkileri olduğu düşünülmektedir.

İleriki çalışmalarda test düzeneğinde yapılan ölçümlerde saniyede alınan veri sayısı, direksiyon simidinin çevrilme hızı ve döndürme süresi boyunca toplanan veri sayısı gibi parametreler ölçüm sisteminde değerlendirilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma HEMA Endüstri A.Ş. Ar-Ge birimince yüksek lisans tezi olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Yaylı, M. (2018). Elastik Sınır Koşullarında Fonksiyonel Derecelendirilmiş Bir Çubuğun Burulma Titreşimi Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 98-104.
- [2] Wu, H., Xu, Z., & Wang, P. (1997). Torsion Test of Aluminum in the Large Strain Range. *International Journal Of Plasticity*, 13(10), 873-892.
- [3] Stanzl-Tschegg, S., Mayer, H., & Tschegg, E. (1993). High frequency method for torsion fatigue testing. *Ultrasonics*, 31(4), 275-280.
- [4] Baranoğlu, G. (2012). *Influence of Static Torsion on the Mechanical Properties of Heavily Drawn Steel Wires*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Technical University Graduate School of Science Engineering and Technology, İstanbul.
- [5] Mutasher, S. (2009). Prediction of The Torsional Strength of the Hybrid Aluminum/Composite Drive Shaft. *Materials Design*, 30(2), 215-220.
- [6] Uymaz, G., Aydoğdu, M., & Cen, G. (2018). Direksiyon Kutusu Doğal Frekansını Değiştirmek İçin Bir Yöntem Önerisi. *9th Proceedings of the International 9th Automotive Technologies Congress (Otekon 2018)*, 07-08 Mayıs, Bursa, 1826-1833.
- [7] Akın, S. (2019). *Endüstriyel alanlarda kullanılan kardan şaftların statik yorulma testleri için hidrolik test düzeneği tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ
- [8] Patil, S., Chavan, P., & Kavade, P. (2012). Investigation of Composite Torsion Shaft for Torsional Buckling Analysis using Finite Element Analysis. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 4(3), 26-31.
- [9] Nippold, C., Küçükay, F., & Henze, R. (2016). Analysis and Application of Steering Systems on a Steering Test Bench. *Automotive and Engine Technology*, 1(1-4), 3-13.
- [10] Johannesson, M., & Lillberg, H. (2018). *Investigation of Steering Feedback Control Strategies for Steer-by-Wire Concept*. Master Thesis, Division of Automatic Control Department of Electrical Engineering, Linköping University, Sweden
- [11] Data, S., Pesce, M., & Reccia, L. (2004). Identification of steering system parameters by experimental measurements processing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 218(8), 783-792.
- [12] Rösth, M. (2007). *Hydraulic power steering system design in road vehicles*. Linköping Studies in Science and Technology. Dissertations No. 1068. Linköping University Institute of Technology. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:23027/fulltext01>. (Erişim Tarihi:04/03/2022)
- [13] Kurishige, M., Nishihara, O. & Kumamoto H. (2011). Analysis on Desirable Damping Coefficient of Torsion Bar in View of Self-Centering of Steering System. *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. Part C*, 77(777), 1813-1823.
- [14] Gröndahl A. (2018). *Functional Modelling and Simulation of an Electric Power Assisted Steering*. Master Thesis. Chalmers University of Technology Department of Mechanics and Maritime Sciences, Sweden
- [15] Xu, G., Chen, M., He, X., Pang, H., Miao, H., Cui, P., Wang, W., & Diao, P. (2021) Path Following Control of Tractor with an Electro-Hydraulic Coupling Steering System: Layered Multi-Loop Robust Control Architecture. *Biosystems Engineering*, 209, 282-299.
- [16] Wang, M., Zhang, N., Jeyakumaran, J., & Misra, A. (2005) Modelling and Simulation of Speed Sensitive Hydraulic Power Steering Systems. Proceedings of the 11th Asia-Pacific Vibration Conference At: Institute of Noise and Vibration, University of Technology Malaysia.
- [17] Yıldızlı, K. (2012). *Burulma Deneyi Föyü*. On dokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun. <https://mak-muhendislik.omu.edu.tr/deney-foyeri>. (Erişim Tarihi:04/03/2022)
- [18] Shine, A., (2006). Fitting Experimental Data to Straight Lines Including Error Analysis. <https://cbe.udel.edu/wp-content/uploads/2019/03/FittingData.pdf>. (Erişim Tarihi:04/03/2022)

Araştırma Makalesi - Research Article

Leaf Nitrogen, Phosphorous, Carbon Variation, and N and P Resorption in *Diospyros kaki* L. along an Altitudinal Gradient

Yükseklik Gradyenti Boyunca *Diospyros kaki* L.'de Yaprak Azot, Fosfor, Karbon Değişimi ve N ve P Rezorbsiyonu

Murat Erbay¹, Ali Bilgin², Şule Güzel^{3*}

Geliş / Received: 14/09/2021

Revize / Revised: 17/02/2022

Kabul / Accepted: 18/02/2022

ABSTRACT

In the present study, nitrogen (N), phosphorus (P), carbon (C) levels and nutrient contents, N and P resorption were investigated in *Diospyros kaki* L., whose leaves has a strong antioxidant property and is cultivated in the Eastern Black Sea Region. The research was carried out at four different locations where *Diospyros kaki* was grown within the provincial borders of Trabzon. Leaf samples were taken from these selected locations monthly from May to December. Soil samples were taken from a depth of 0-20 cm from each locality. Soil N, P and C analysis were also determined. There were important differences in N (%) concentration and N (g dm⁻²) content values in terms of localities. N, P and C (%) concentration values significantly varied among months. Similarly, there were notable differences in N and P (g dm⁻²) values depending on months. Nitrogen and phosphorus resorption efficiency (RE) values were below stated boundaries at only 796 m. Nitrogen and phosphorus resorption proficiency (RP) values significantly varied between localities.

Keywords- *Diospyros kaki* L., Leaves Nutrient Content, Persimmon, Resorption

ÖZ

Bu çalışmada; Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yetişen ve güçlü antioksidan içeriğine sahip *Diospyros kaki* L.'nin azot (N), fosfor (P), karbon (C) düzeyleri ile besin içerikleri, N ve P rezorbsiyonu incelenmiştir. Çalışma Trabzon il sınırları içerisinde yer alan *Diospyros kaki*'nin yayılış gösterdiği dört farklı lokalitede gerçekleştirilmiştir. Belirlenen lokalitelerden Mayıs-Aralık ayları boyunca her ay yaprak örneği toplanmıştır. Her bir lokaliteden 20 cm derinlikten toprak örnekleri alınarak N, P ve C analizleri yapılmıştır. N (%) ve N (g dm⁻²) değerleri lokaliteler arasında, N (%), P (%), C (%), N (g dm⁻²) ve P (g dm⁻²) değerleri ise aylar arasında P < 0.01 seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir. N ve P rezorbsiyon kullanım verimliliği değerleri sadece 796 m'deki lokalitede belirtilen sınırların altındadır. N ve P rezorbsiyon kullanım yeterlilik değerlerinin ise lokaliteler arasında önemli oranda farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Diospyros kaki* L., Rezorbsiyon, Trabzon Hurması, Yaprak Besin İçeriği

¹Contact: murat.erbay@erdogan.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2501-9854>)

Department of Student Affairs, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Turkey

²Contact: ali.bilgin@erdogan.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-8443-1910>)

Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Turkey

^{3*}Corresponding author contact: sule.guzel@erdogan.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3822-8062>)

Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Recep Tayyip Erdoğan University, Rize, Turkey

I. INTRODUCTION

Resource availability is an important driver of ecosystem structure and function, including species diversity and nutrient cycling. Plants have developed a number of strategies to respond to changes in nutrient availability by maximizing the acquisition and retention of the most restrictive nutrients. One of these strategies is the nutrient resorption. Resorption is an important mechanisms used by plants to conserve nutrients before period of senescence [1-4]. Resorption is the transfer of elements from leaves to durable tissues before the leaf senescence usually in trees and shrubs [5]. Resorption improves the adaptation and continuity of the plant [6].

The foliar nutrient resorption is an important strategy for new leaf production in the following year and has a tight cycle in ecosystems [7]. In addition, resorption reduces the possibility of the plant's nutrient loss through annual litter fall, and thus also reduces its dependence on nutrients in the soil [4]. Resorption efficiency (RE) is expressed as the mineral element transported from senescent leaves to green leaves or resistant tissues before absorption, and is usually determined by measuring the nutrient pools of mature leaves. Herein, the nutrient pool is known as the weight of the leaf or the amount of elements per leaf area. Resorption proficiency (RP) is the amount of elements remaining in fully aged leaves [2]. RP is more objective than resorption efficiency. Low element concentration in senescent leaves means high proficiency, and vice versa. The lower the element concentration in senesced leaves, the lower the element loss by defoliation and higher the N resorption proficiency [1,8,9].

The resorption of mineral elements is a factor that limits the nitrogen and phosphorus loss of the plant and increases the nitrogen and phosphorus utilization efficiency. Resorption is a very important internal control mechanism that protects the plant from being dependent on environmental factors, especially soil [8].

The homeland of Trabzon persimmon, which is a fruit type grown in subtropical climate conditions in the world, is China. Since the entrance of the commercially grown date type to our country is via Trabzon, it has been named "Trabzon Persimmon" [10]. This research was carried out to determine the foliar nitrogen and phosphorus resorption and nutrient contents of *Diospyros kaki*, which has an economical importance for our country along with elevation and throughout one growing season. Besides, the effect of soil factor on foliar nutrient resorption was investigated.

II. MATERIAL AND METHODS

A. Study Area and Plant Samples

This study was undertaken in Barışlı Village, located in the northeastern of Turkey, Trabzon. 5 (20 m × 20 m) plots were selected in homogeneous places at each altitude of 170, 344, 485 and 796 m (Table 1). In sampling area, 5 healthy plants were randomly chosen and marked. Each plant was taken ≥ 2.5 m from the stems of neighboring canopy trees to avoid potential microsite variation [11]. Green leaf samples were collected in the first weeks from May to December 2015. Senesced leaves were collected in the first week of December. Senescent leaves were collected by shaking lightly the same branches from which green leaves were collected. Leaf samples were collected from the middle part of the canopy for each plant from the five replicate plots. The collected samples were mixed with each replicate plots.

Table 1. The geographic coordinates of all localities.

Altitudes	N	E
170 m	40° 52' 839"	39° 42' 080"
344 m	40° 51' 979"	39° 42' 339"
485 m	40° 51' 910"	39° 42' 899"
796 m	40° 51' 588"	39° 43' 172"

B. Laboratory Analyses

The leaf samples were oven-dried at 60 °C, grounded and sieved. N and C (%) concentrations of samples were detected by Dumas method [12]. P (%) concentration was detected by using standard method. The absorbance was measured at 430 nm with a Biochrom Libra S70 Double Beam Spectrophotometer [13].

Soil samples were collected from a depth of 0-20 cm, were also collected from each altitude during the growing season. On each sample date, soil and plant samples were taken from each altitude simultaneously during the growing season. The soil samples were air-dried and sieved to pass through a 2-mm screen. Soil pH values (1:1) were measured by pH-meter (Thermo Scientific Orion 3 Star, Singapore). Soil nitrogen and phosphorus

content was spectrophotometrically detected by Kjeldahl method and by extraction with ammonium acetate, respectively.

C. Calculation of Specific Leaf Area (SLA), Nutrient Contents, Resorption Efficiency and Proficiency

Leaf area of each species was measured with a leaf-area meter (LI-3000, LICOR-USA). SLA was computed with respect to Cornelissen et al. [14]:

$$SLA = \Sigma LA \text{ (dm}^2\text{)} / \Sigma LDW \text{ (g)} \quad (1)$$

$$LA: \text{ Leaf area (dm}^2\text{)} \quad (2)$$

$$LDW: \text{ Leaf dry weight (g)} \quad (3)$$

N, C and P (g dm⁻²) were computed with respect to the following formulas.

$$\text{Element contents} = \Sigma LDW(\text{g}) \times \text{crude element concentration} / SLA = \text{g dm}^{-2} \quad (4)$$

N-RE, P-RE, N-RP and P-RP were computed [15,16]:

$$RE = [(\text{Nutrient in mature leaves} - \text{Nutrient in senesced leaves}) / \text{Nutrient in mature leaves}] \times 100 \quad (5)$$

N-RP and P-RP were the concentrations of nutrient in senesced leaves [1].

D. Statistical Analyses

Statistical analysis was performed by using SPSS version 21 (IBM SPSS Statistics for Windows, Armonk, NY). One-way ANOVA used to expose whether foliar N, P and C concentrations, resorption efficiency and proficiency changed with respect to months and altitudes. After the analysis of variance, post-hoc multiple comparisons were made using Tukey HSD test.

III. RESULTS

A. Leaf N, P, C Dynamics Across All Altitudes and Months

Descriptive statistics for leaf N, P, C dynamics, N and P resorption parameters are provided in Table 2. Significant differences were not found in C (%), P (%) and P (% - g dm⁻²) elements between localities overall, but N (%) and N (g dm⁻²) element showed a significant difference (P < 0.01). All elements among the months showed notable differences.

The highest and the lowest N values (%) were at 796 m in May and 485 m in December, respectively. The highest and the lowest P values (%) were at 344 m in May and 170 m in December, respectively. The highest and the lowest C values (%) were at 796 m in December and 344 m in July, respectively (Figure 1). For N and P concentrations (g dm⁻²), the highest value was at 344 m in September and the lowest value was at 485 m in May (Figure 2).

Table 2. Nitrogen, carbon and phosphorus values for *Diospyros kaki* according to altitudinal gradients and months (Mean ± Standart Error).

		N %	P %	C %	N (g dm ⁻²)	P (d dm ⁻²)
Altitudes	170 m	2.01±0.05b	0.41±0.26a	38.64±0.58a	8.52±0.73a	1.58±0.15a
	344 m	2.17±0.04b	0.61±0.78a	38.32±0.52a	9.00±0.91a	1.79±0.18a
	485 m	1.83±0.08b	0.54±0.59a	39.82±0.49a	5.25±0.44b	1.36±0.10a
	796 m	2.55±0.16a	0.57±0.50a	40.03±0.47a	6.93±0.56ab	1.61±0.21a
Months	May	3.11±0.23a	0.94±0.09a	41.71±0.55ab	1.87±0.15d	0.67±0.12d
	June	2.91±0.12a	0.60±0.04b	37.62±0.31c	6.50±0.27bc	1.54±0.17abc
	July	1.87±0.05bc	0.49±0.04bc	32.78±0.48d	8.26±0.85bc	2.13±0.21ab
	August	2.03±0.04b	0.62±0.11b	38.41±0.40c	7.20±0.67bc	1.69±0.17abc
	September	2.18±0.04b	0.48±0.06bc	41.26±0.28b	12.14±1.10a	2.34±0.32a
	October	1.88±0.03bc	0.43±0.02bc	38.24±0.33c	9.54±0.95ab	1.99±0.13ab
	November	1.58±0.06c	0.48±0.09bc	40.26±0.46b	6.03±0.68c	1.32±0.17bcd
	December	1.57±0.04c	0.20±0.01c	43.34±0.46a	7.84±0.24bc	0.97±0.03cd

Different letters denote significant differences between the groups according to Tukey's HSD test (rejection level 0.05)

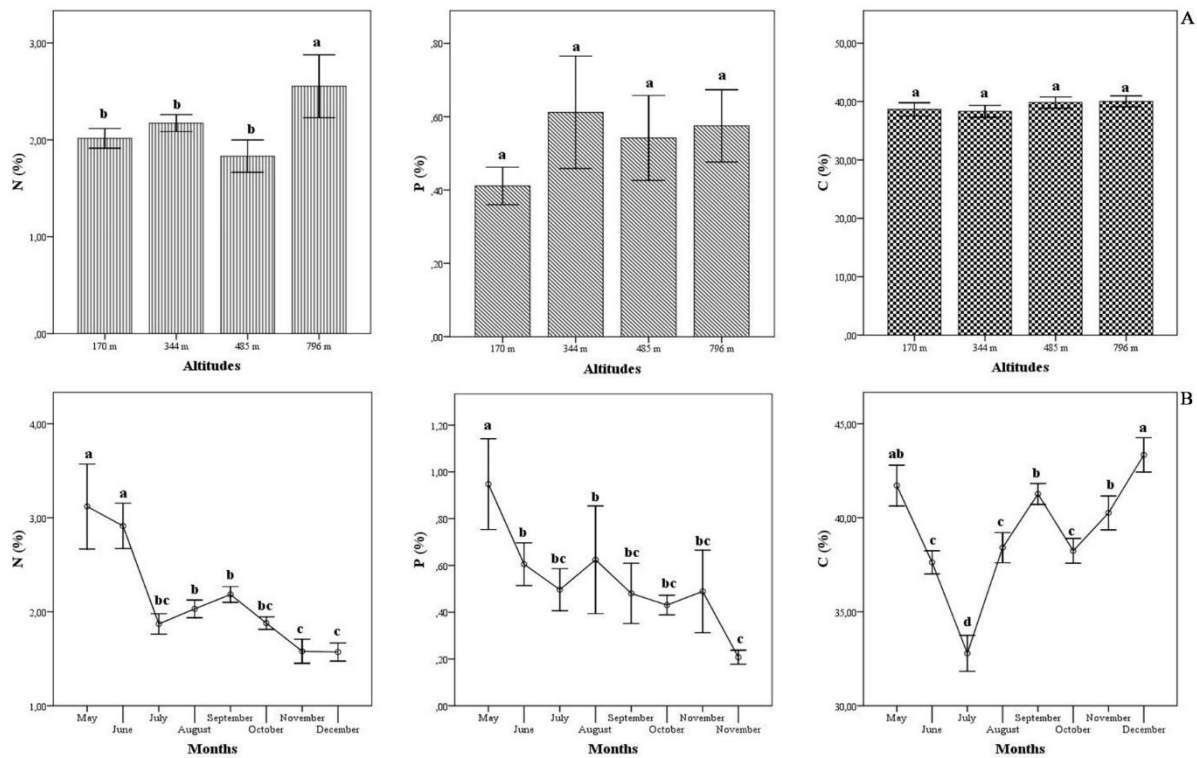


Figure 1. Nitrogen, phosphorus and carbon (%) concentrations in leaves of *Diospyros kaki* depending on altitudes (A) and months (B).

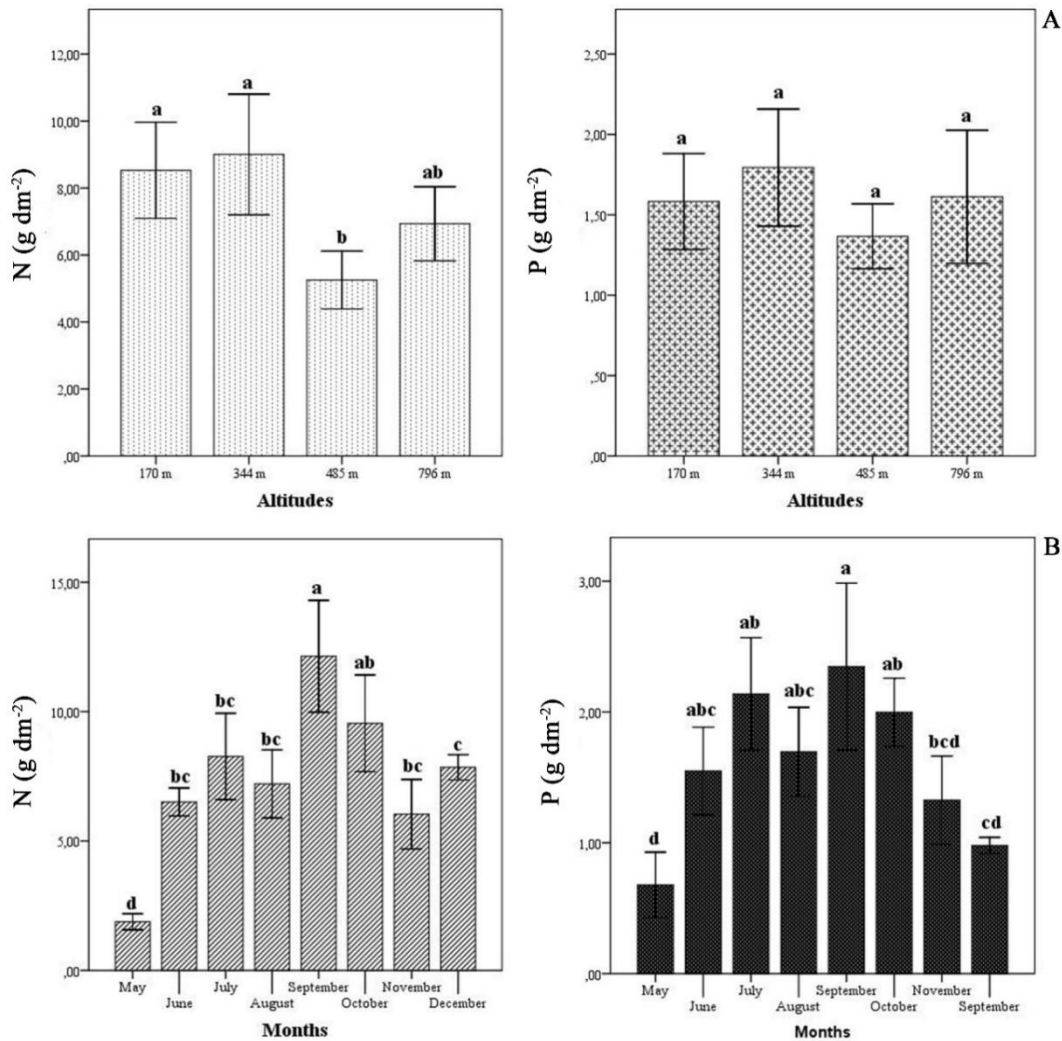


Figure 2. Nitrogen, phosphorus and carbon (g dm^{-2}) concentrations in leaves of *Diospyros kaki* depending on altitudes (A) and months (B).

B. N and P Resorption Across All Altitudes

Depending on altitudes, there were meaningful differences ($P < 0.01$) in N-RE, P-RE and N-RP (%) values, only P-RP (%) value showed a difference ($P < 0.05$).

N-RE (%) and N-RP values were high at 170 m. The lowest N-RE (%) and N-RP (%) values were at 796 and 485 m, respectively. P-RE (%) values were high at 344 m and low at 796 m. the highest and lowest P-RP (%) values were at 796 and 485 m, respectively (Table 3).

Table 3. Nitrogen and phosphorus resorption efficiency and proficiency (%) in *Diospyros kaki* across all the altitudes by using Tukey's HSD test.

Altitudes (m)	N-RE (%)	N-RP (%)	P-RE (%)	P-RP (%)
170	31.40±0.73a	6.86±0.12a	33.63±1.77b	1.03±0.05ab
344	30.43±0.32a	6.08±0.24ab	43.97±0.50a	0.98±0.36ab
485	27.54±0.42a	2.96±0.55c	32.57±1.34b	0.74±0.19b
796	19.89±1.64b	4.92±0.47b	25.31±1.20c	2.00±0.20c

Different letters in the same column indicate statistically significant differences among parameters for the mean of altitudes. Means followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level using Tukey's HSD test

C. Soil Total N, P and C (%) Concentrations Across All Altitudes and Months

Soil N, P and C (%) concentrations of *Diospyros kaki* had valuable significant differences. The highest and lowest N and C (%) values were at 485 m and 344 m, respectively. P (%) values were high at 485 m and were low at 170 m (Table 4).

Table 4. Soil physicochemical properties of all sampling localities.

Altitudes (m)	N (%)	P (%)	C (%)
170	0.12±0.006b	0.06±0.015a	1.68±0.04b
344	0.04±0.001c	0.09±0.008ab	0.99±0.20b
485	0.34±0.02a	0.12±0.01a	4.67±0.31a
796	0.11±0.004b	0.06±0.005b	1.34±0.10b

Different letters in the same column indicate statistically significant differences among parameters for the mean of altitudes. Means followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 level using Tukey's HSD test.

IV. DISCUSSION

In the present study, N, P and C dynamics of *Diospyros kaki* from Turkey according to localities and growing period are reported. In addition, N and P resorption values of *D. kaki* were investigated based on localities.

The concentrations of nutrients vary depending on their physiological functions, chemical nature, nutrient supply levels and other factors throughout the life of the leaves [17].

N and P (%) concentrations of *Diospyros kaki* reached the highest values in May when the leaves first started to emerge. This situation may have been caused by the high rate of photosynthesis with the first formation of leaves at the beginning of the growing season. The lowest N and P (%) concentrations were observed in December, when the leaves entered the senescence period. The decrease in photosynthetic activity in the leaves during the senescence period and the transport of leaf nutrients back to the durable tissues may be the cause of this situation [18].

Özbucak et al. [19], Turkis and Özbucak [20] stated in their study that N and P concentrations increased with increasing height. As similarly, it was found that N, P and C (%) concentrations of *Diospyros kaki* increased with increasing height (Figure 1A). The reason for this may be that the humidity decreases depending on the altitude and the N and P mechanisms are activated as a result [19].

As a result, it was determined that the leaf nutrient contents of *Diospyros kaki* changed according to the changing environmental conditions and showed differences according to the growing season.

Resorption of nutrients in plants, it is determined by calculating the resorption efficiency and resorption efficiency values [21]. It has been stated that in deciduous species, N-RE and P-RE varies between 40-75% for N and 30-70% for P [22]. In other studies, it has been reported that the N-RE and P-RE values in deciduous species vary between 26-64% and 56-71%, respectively [23,24]. The mean N-RE and P-RE values (27.31% and 38.87%, respectively) of *Diospyros kaki* were nearly the same as those reported. Based on the obtained data, the N-RE and P-RE values were in accordance with the values stated in the literature. Our findings show that all studied altitudes effectively resorbed N and P nutrients except for 796 m (Table 3). Wang et al. [6] stated that an average N-RE and P-RE (%) values of lucerne (*Medicago sativa*) were 16.2 and 27.3, respectively. Stackpoole et al. [25] found that resorption efficiency of cranberry was 35.7 (%). Roley et. al [26] determined that N resorption efficiencies averaged 53% for lowland versus 29 % for upland switchgrass cultivars. Aerts [22] indicated that the N-RE and P-RE differed among evergreen shrubs and trees, deciduous shrubs and trees, graminoids and forbs, and also varied by sites.

Rejmankova [16] reported that the RP was more effective than the RE in determining nutrient availability. Resorption proficiency is determined by the lowest nutrient concentrations in leaves and is the nutrient concentration in completely senescent leaves [1]. During the senescence period, the amount of nutrients decreases significantly as a result of the aging of the leaves and the breakdown of chlorophyll [15]. If the lowest N and P concentrations are below 0.7% and 0.05% in senesced leaves respectively, N and P resorption is accepted sufficient [1]. In our study, NR-P and PR-P values of *Diospyros kaki* are above the values of 0.7% and 0.05%, respectively, resorption is not biochemically sufficient.

There have been many studies in the literature stating that leaf nutrient resorption efficiency and proficiency values change with altitude. Bilgin and Güzel [27] stated that NR-E and PR-E (%) values of *Tilia rubra* subsp. *caucasica* increased with the increasing altitude, but NR-P and PR-P (%) values decreased. Similarly, Bilgin et al. [4] found that the leaf N and P resorption efficiency of *Vaccinium myrtillus* increased with the altitude, while the N-RP and P-RP reduced. Also, Bilgin et al. [4] pointed out that N resorption efficiency values changed with height. In the current study, while NR-P decreased depending on the altitude, PR-P decreased until 485 m and the highest PR-P level was found in the locality at 796 m. It was determined that N and P resorption efficiency values decreased depending on the height (Table 3). As a result, it was determined that leaf N and P resorption values varied with the height. This may be due to changes in leaf or soil nutrient content.

It is thought that the species growing in low fertile soils have higher nutrient resorption efficiency values. It is also known that high nutrient resorption efficiency values depend on changes in nutrient availability. This shows us that although nutrient resorption is a sign important protection strategy, change in soil nutrients is effective in the distribution of species. In this work, it was found that the % N values in the soil samples taken from the research areas were between 0.05 and 0.38, while the % P values varied between 0.03 and 0.14 (Table 4). This situation shows us that the N content of the soils in the study area is higher than the P content. Short-term increases in soil fertility reduce or increase resorption or have no effect. For example, in *Larrea tridentata* D.C., it has been reported that fertilization does not have an effect on resorption, whereas in *Typha latifolia* L., one of the marsh plants, fertilization decreases the resorption. On the other hand, short-term fertilization increased the resorption of *Pinus radiata* in D. Don [28, 29]. For resorption efficiency, mulching decreased P-RE by an average of 3.0%, while P fertilization increased the N-RE and P-RE values in alfalfa by an average of 6.8% and 6.2% over two years, respectively [30]. In the current research, N-RE and P-RE values were generally determined between the limits specified in the literature, but N-RP and P-RP values were found to be higher than other deciduous species. Similarly, Oikawa et al. [31] reported that legume species were not sufficient to resorb nitrogen from aging leaves. N and P resorption use adequacy could not be achieved due to the excessive elements in the soil and the plant could not obtain a recovery that could feed itself. It is thought that the main reason for this may be the fertilizers used around the work area. This situation may adversely affect the development of persimmon plant in adverse conditions such as climate changes and competition that may occur in the future.

REFERENCES

- [1] Killingbeck, K.T. (1996). Nutrients in senesced leaves: keys to the search for potential resorption and resorption proficiency. *Ecology*, 77, 1726-1727.
- [2] Killingbeck, K. T. (2004). *Nutrient resorption*. In: Nooden L.D., editor. *Plant Cell Death and Related Processes*. San Diego, CA, USA: Academic Press, 215–226.
- [3] Hagen-Thorn, A., Varnagiryte, I., Nihlgård, B., & Armolaitis, K. (2006) Autumn nutrient resorption and losses in four deciduous forest tree species. *Forest Ecology Management*, 228, 33-39.
- [4] Bilgin, A., Zeren, Y., & Güzel, Ş. (2016). Foliar N and P resorption and nutrient (N, P, C and S) contents of *Vaccinium arctostaphylos* L. and *Vaccinium myrtillus* L. from East Black Sea region of Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 40, 137-146.
- [5] Kılınç, M., Kutbay, H.G., Yalçın, E., & Bilgin, A. (2006). *Plant ecology and plant sociology applications*. Palme Yayınları, Yayın No: 394, ISBN: 975-8982-98-2, 362, 168-169.
- [6] Wang, Z., Lu, J., Yang, H., Zhang, X., Luo, C., & Zhao, Y. (2014). Resorption of nitrogen, phosphorus and potassium from leaves of lucerne stands of different ages. *Plant Soil*, 383, 301-312.
- [7] Aerts, R., & Chapin, F.S. (2000). The mineral nutrition of wild plants revisited: A re-evaluation of processes and patterns. *Advances of Ecological Research*, 30, 1-67.
- [8] Yuan, Z.Y., Li, L.H., Han, X.G., Huang, J.H., Jiang, G.M., Wan, S.Q., Zhang, W.H., & Chen, Q.S. (2005). Nitrogen resorption from senescing leaves in 28 plant species in a semiarid region of northern China. *Journal of Arid Environments*, 63,191-202.
- [9] Gürsoy, S., Kutbay, H.G., Kilic, D.D., Huseyinova, R., Bilgin, A., & Yilmaz, H. (2013). Nitrogen and phosphorus resorption in two wetland macrophytes. *Pakistan Journal of Botany*, 45(5), 1707-1714.
- [10] Tuzcu, Ö., & Yıldırım, B. (2000). *Trabzon hurması (Diospyros kaki L.) ve yetiştiriciliği*. TÜBİTAK/TOGTAG. Ankara. 24s.
- [11] Boerner, R.E.J., & Koslowsky, S.D. (1989). Microsite variations in soil chemistry nitrogen mineralization in a beech maple forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 21, 795-801.

- [12] Jiménez, R.R., & Ladha, J.K. (1993). Automated elemental analysis: A rapid and reliable but expensive measurement of total carbon and nitrogen in plant and soil samples. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24, 1897-1924.
- [13] Allen, S.E., Grimshaw, H.M., Parkinson, J.A., Quarmby, C., & Roberts, J.D. (1986). *Chemical analysis*, In: Chapman S.B. (Ed), *Methods in plant ecology*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 411-466.
- [14] Cornelissen, J.H.C., Werger, M.J.A., Castro-Diez, P., Ven Rheen, J.W.A., & Rowland, A.P. (1997). Foliar nutrients in relation to growth allocation and leaf traits in seedlings of a wide range of woody plant species. *Oecologia*, 111, 460-469.
- [15] Orgeas, J., Ourcival, J.M., & Bonin, G. (2002). Seasonal and spatial patterns of foliar nutrients in cork oak (*Quercus suber* L.) growing on siliceous soils in Provence (France). *Plant Ecology*, 164, 201-211.
- [16] Rejmankova, E. (2005). Nutrient resorption in wetland macrophytes: comparison across several regions of different nutrient status. *New Phytologist*, 167, 471-482.
- [17] Oleksyn, J., Reich, P.B., Zytowski, R., Karolewski, P., & Tjoelker, M.G. (2002). Needle nutrients in geographically diverse *Pinus sylvestris* L. populations. *Annals of Forest Science*, 59, 1-18.
- [18] Kutbay, H.G., Ok, T., Bilgin, A., & Yalcin, E. (2005). Seasonal nutrient levels and foliar resorption in *Juniperus phoenicea*. *Belgian Journal of Botany*, 138, 67-75.
- [19] Özbucak, T.B., Turkis, S., & Cakmak, A. (2009). An ecological study on some *Rhododendron* species distributed around Ordu province. *Research Journal of Biological Sciences*, 2, 71-77.
- [20] Turkis, S., & Özbucak, T. (2010). Foliar resorption and chlorophyll content in leaves of *Cistus creticus* L. (Cistaceae) along an elevational gradient in Turkey. *Acta Botanica Croatica*, 69 (2), 275-290.
- [21] Karavin, N. (2010). *Bir Quercus cerris* L. var. *cerris* ormanında bulunan yaprak dökken (*Quercus cerris* L. var. *cerris*) ve yaprak dökme (Phillyrea latifolia L.) iki türde yaprakta N ve P rezorbsiyonunun, dekompozisyonunun ve mineral besin maddesi değişiminin incelenmesi. Doktora Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [22] Aerts, R. (1996). Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns? *Journal of Ecology*, 84, 597-608.
- [23] Boerner, R. E. J. (1984). Foliar nutrient dynamics and nutrient use efficiency of four deciduous tree species in relation to nutrient fertility. *Journal of Applied Ecology*, 21, 1029-1040.
- [24] Côté, B., Fyles, J. W., & Djalilvand, H. (2002). Increasing N and P resorption efficiency and proficiency in northern deciduous hardwoods with decreasing foliar N and P concentrations. *Annals of Forest Science*, 59, 275-281.
- [25] Stackpoole, S.M., Workmaster, B.A.A., Jackson, R.D., & Kosola, K.R. (2008). Nitrogen conservation strategies of cranberry plants and ericoid mycorrhizal fungi in an agroecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 2736-2742.
- [26] Roley, S. S., Ulbrich, T. C., & Robertson, G. P. (2021). Nitrogen fixation and resorption efficiency differences among twelve upland and lowland switchgrass cultivars, *Phytobiomes Journal*, 5, 97-107.
- [27] Bilgin, A., & Güzel, Ş. (2017). Foliar resorption and nutrient changes in leaves and soils of *Tilia rubra* subsp. *caucasica* (linden) along an altitudinal gradient during the growing season. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26, 1607-1621.
- [28] Kilic, D., Kutbay, H. G., Özbucak, T., & Huseyinova, R. (2010). Foliar resorption in *Quercus petraea* subsp. *iberica* and *Arbutus andrachne* along an elevational gradient. *Annals of Forest Science*, 67, 213.
- [29] Nambiar, E.K.S., & Fife, D.N. (1987). Growth and nutrient retranslocation in needles of radiata pine in relation to nitrogen supply. *Annals of Botany*, 60, 147-156.
- [30] Kong, M., Kang, J., Han, C. L., Gu, Y. J., Siddique, K. H. M., & Li, F. M. (2020). Nitrogen, phosphorus, and potassium resorption responses of alfalfa to increasing soil water and P availability in a semi-arid environment. *Agronomy*, 10, 310.
- [31] Oikawa, S., Matsui, Y., Oguro, M., Okanishi, M., Tanabe, R., Tanaka, T., Togashi, A., & Itagaki, T. (2020). Species-specific nitrogen resorption proficiency in legumes and nonlegumes. *Journal of Plant Research*, 133, 639-648.

Araştırma Makalesi - Research Article

Kentsel Su Yönetiminde Basınç Kontrolü İçin Fayda Maliyet Analizi Hesaplama Aracının Geliştirilmesi

Development of Cost-Benefit Analysis Calculation Tool for Pressure Control in Urban Water Management

Salih Yılmaz¹, Mahmut Fırat^{2*}

Geliş / Received: 17/09/2021

Revize / Revised: 22/01/2022

Kabul / Accepted: 10/02/2022

ÖZ

Kentsel su yönetiminde arıza yoğunluğuna bağlı olarak işletme koşulları bozulmaktadır. Arızaların oluşmasında en önemli faktör sistemdeki yüksek basınç ve basınçtaki düzensizliktir. Bu nedenle yeni arıza oluşumunun azaltılması için basıncın kontrol altına alınması ve dalgalanmaların azaltılması gerekmektedir. Ancak basınç kontrolü oldukça kapsamlı saha çalışması gerektiren, maliyetli bir süreçtir. Bu nedenle basınç yönetimi uygulanmadan önce oluşacak maliyetler (ekipman, saha çalışmaları, kurulum) ve faydalar (sisteme kazandırılacak potansiyel su hacmi, arızadaki potansiyel azalmalar) analiz edilmelidir. Bu çalışmada bir izole bölgede basınç yönetimi uygulanması durumunda ortaya çıkan maliyetlerin ve faydaların analiz edilmesi için hesaplama aracının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla saha verilerine göre maliyet bileşenleri tanımlanmıştır. Ayrıca literatürde önerilen yaklaşımlar esas alınarak basınç kontrolüne bağlı olarak sızıntı ve arıza oranındaki azalmalar analiz edilmektedir. Bu fayda ve maliyet bileşenleri geliştirilen hesaplama aracına tanımlanmıştır. Geliştirilen bu hesaplama aracının özellikle uygulayıcılar için referans teşkil edeceği düşünülmektedir. Bu hesaplama aracında izole bölge çalışmaları için de fayda maliyet bileşenleri tanımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler- *Kentsel Su Yönetimi, Basınç Kontrolü, Fayda Maliyet Analizi, Hesaplama Aracı*

ABSTRACT

Operating conditions deteriorate depending on the density of failures in urban water management. The most important factor in the occurrence of failures is the high pressure in the system and the fluctuation in the pressure. Therefore, it is necessary to control the pressure and reduce the fluctuations in order to reduce the occurrence of new faults. However, pressure control is a costly process that requires extensive fieldwork. Therefore, before applying pressure management, the costs (equipment, field works, and installation) and benefits (potential water volume to be added to the system, potential reductions in failure) should be considered. The aim of this study is to develop a calculation tool to analyse the costs and benefits of applying pressure management in an isolated zone. For this purpose, cost components were defined according to field data. In addition, based on the approaches suggested in the literature, reductions in leakage and failure rates due to pressure control are determined. These fault and cost components are defined in the developed calculation tool. It is thought that this developed calculation tool will be a reference especially for practitioners. In this calculation tool, cost-benefit components are also defined for isolated site studies.

Keywords- *Urban Water Management, Pressure Control, Cost-Benefit Analysis, Calculation Tool*

¹İletişim: salihymz@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-3206-1225>)

Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi, Malatya, Türkiye

^{2*}Sorumlu yazar iletişim: mahmut.firat@inonu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-8010-9289>)

İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

I. GİRİŞ

İçme suyu dağıtım sistemlerinde çevresel, fiziksel, hidrolik ve işletme faktörlerine bağlı olarak farklı seviyelerde arıza ve sızıntılar gözlenmektedir. Bu arızalar şebekenin işletme koşullarını bozmakta, maliyetlerin artmasına neden olmakta ve sistemin yönetilemez hale gelmesine neden olmaktadır. Dağıtım sistemlerinde bölgenin topoğrafik koşullarına ve deponun yerleşim durumuna göre sistem basıncı yüksek seviyelerde olmakta veya abonelerin tüketim karakteristiğine bağlı olarak gün içinde önemli dalgalanmalar gözlenmektedir. Şebekede gözlenen rapor edilen veya edilmeyen arızaların oluşmasında ve mevcut arızalarda, birim zamanda kaybolan sızıntı hacminin artmasında sistem işletme basıncının etkili olduğu birçok araştırmada vurgulanmıştır [1, 2]. Doğrudan ölçümlere dayanarak farklı çapta borular ve koşullar için kayıp oranı ve basınç arasındaki ilişkiyi tanımlayan Fixed and Varied Area Discharge (FAVAD) denklemi önerilmiştir [3]. Ayrıca, standart arıza frekansları ve arka plan sızıntıları için debi oranlarını hesaplayan bir yöntem olan Background and Bursts Estimates (BABE) yaklaşımı geliştirilmiştir [4]. BABE ve FAVAD yöntemleri birleştirilerek dağıtım sistemlerinde (ana hat, servis bağlantı ve özel mülkteki servis bağlantılarında) yıllık kaçınılmaz kayıpları (UARL) hesaplayan yöntem önerilmiştir [1,5]. Basıncın düzenlenmesi ve gece-gündüz basınç dalgalanmasının azaltılması için uygulanan basınç kontrol yönetimi, mevcut arızalarda sızıntı hacminin azalması, yeni arıza ve sızıntı oluşma riskinin azalması, işletme maliyetinin ve birim zamanda tüketilen su hacminin azalması ve borunun ekonomik ömrünün uzaması, şebeke yenilemenin ertelenmesine bağlı olarak ilk yatırım maliyetinin azalması gibi önemli katkılar sunmaktadır [6–8]. Basınç yönetiminin uygulanması ile fiziki kayıpların azalacağı ve buna bağlı olarak su üretim ve iletim maliyetlerinin doğrudan düşeceği vurgulanmıştır. Diğer taraftan basınç yönetiminin su tüketiminin azalmasındaki etkisinin oldukça düşük seviyede olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, basınç yönetiminin diğer önemli bir faydasının, arıza frekansının azalması ve buna bağlı olarak sızıntı hacminin azalması şeklinde olduğu ifade edilmiştir [9]. Benzer şekilde yapılan araştırmada, içme suyu dağıtım şebekelerinde basınç yönetiminin faydaları araştırılmış, basınç yönetimi yapılırken öncelikle şebekede basınç bölgelerinin oluşturulması gerektiği, ardından uygun basınç kırıcı vanaların seçilmesi gerektiği belirtilmiştir [10]. Literatürde yapılan diğer bir çalışmada, sızıntıların azaltılmasının tüm su idarelerin ortak hedefi olduğunu ve seçilecek stratejilerde ekonomik analizlerin yapılmış olması gerektiği ortaya konulmuştur [11]. Pilot bölgede basınç müdahalelerinin faydaları ve maliyetleri analiz edilmiş ve basınç yönetiminin en etkili kayıp azaltma yöntemi olduğunu fakat yapılacak çalışmalarda yine de ekonomik analiz yapılması gerektiği vurgulanmıştır [11].

Sızıntıların azaltılması için aktif basınç kontrolü uygulanmış ve ekonomik sonuçları incelenmiştir. Konvansiyonel basınç kırıcılar ile uzaktan gerçek zamanlı kontrol edilen basınç kırıcılar kullanılarak şebekede uygulanmış ve sonuçları araştırılmıştır. Sızıntı seviyesi ile bakım ve işletim maliyetlerinin düşük olduğu bölgelerde aktif basınç kontrolüne ihtiyaç duyulmadığı, karmaşık ve büyük sistemlerde uzaktan kontrollü basınç kırıcıların kullanılmasının uygun olduğu ortaya konulmuştur [12]. Diğer bir çalışmada, basınç yönetiminin su kayıp azaltma yöntemleri içerisindeki en iyi uygulamalardan biri olduğu ortaya konulmuştur. Basınç kırıcı vanalar kullanılarak oluşturulan izole bölgelerde kayıp oranlarının %37'e kadar azaltılabildiği görülmüştür. Bu nedenle su yönetiminde ilk olarak basınç yönetimi uygulamasının ekonomik faydalarının ve maliyetlerinin analiz edilmesi tavsiye edilmiştir [13]. Sızıntıların önlenmesi ve azaltılması amacıyla gerçek zamanlı basınç kontrol sistemi önerilmiş ve saha deneyleri sonucunda gerçek zamanlı basınç kontrolünün minimum gece debisinin azaltılmasında, basınç dalgalanmalarının en aza indirilmesinde ve basıncın düzenlenmesinde önemli kazanımların elde edildiğini vurgulanmıştır [14,15]. Su yönetiminde karar vericileri ilgi yatırımın gerçekleşmesine ikna etmek amacıyla, çalışma faydalarının önceden ortaya konulması gerektiği vurgulanmıştır. Diğer taraftan, basınç kontrol yönetiminin faydalarının yanı sıra, oda yapımı, cihaz ve ekipman seçimi-yerleştirilmesi ve verilerin izlenmesi için otomasyon sistemi gibi bileşenler önemli maliyetler oluşturmaktadır [16]. Bu nedenle bir sistemde basınç kontrol yönetimi uygulanmadan önce aşağıdaki soruların cevaplanması, ekonomik anlamda sistem verimliliği için oldukça önemlidir [17, 18]; (i) Basınç yönetimi gerekli mi? Uygulanabilir mi? Beklenen faydalar nelerdir? Teknik ve teknolojik alt yapı yeterli mi? (ii) Şebeke davranışı, abone su talep karakteristiği hakkında bilgi var mı? Olumsuz etkilenecek aboneler var mı? Hidrolik modelde simülasyon yapıldı mı? (iii) Maliyet bileşenleri, cihaz temin, kurulum, işçilik ve saha çalışmalarının maliyetleri belirlendi mi? Fayda maliyet analizi yapıldı mı?

Bu nedenle bu çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerinde basınç kontrolü ve yönetimi uygulamaları için fayda maliyet analizi hesaplama aracı geliştirilmiştir. Bu hesaplama aracı izole bölgelerde basınç yönetimi uygulanmadan önce maliyetlerin hesaplanmasına ve potansiyel faydaların analiz edilmesine imkan tanımaktadır. Hesaplama aracının geliştirilmesinde literatürde önerilen yöntemler ve saha çalışmaları dikkate alınmıştır. Bunun için öncelikle maliyet oluşturan bileşenler belirlenmiş ve bunların sayısal hesaplamaları yapılmıştır. Daha sonra basınç yönetimi uygulanmasına bağlı olarak arıza ve sızıntıda meydana gelebilecek faydalar ortaya konulmuştur.

Böylece geliştirilen bu hesaplama aracında izole bir bölgede basınç yönetimi uygulanması durumunda ortaya çıkan maliyetler ve faydalar için saha verileri esas alınarak bileşenler tanımlanmıştır. Hesaplama aracında tanımlanan bu bileşenler esas alınarak herhangi bir izole bölgede basınç yönetimi için fayda ve maliyetler analiz edilmektedir. Hesaplama aracında veri girişi ekranında kullanıcı tarafından şebeke özellikleri sisteme girilerek maliyet analizi otomatik olarak yapılmaktadır. Geliştirilen bu hesaplama aracının belediyeler ve su idarelerindeki uygulayıcılar için referans oluşturacağı ve önemli kazanımlar sağlayacağı düşünülmektedir.

II. SU KAYIPLARI

Dağıtım sistemlerine verilen suyun belli bir kısmı yasal kayıtlı abonelere iletilmekte ve bunlar faturalandırılmış yasal kullanımları oluşturmaktadır. Ancak sistem giriş hacminin belli bir kısmı ise, şebeke ve elemanlarında meydana gelen arızalardan dolayı abonelere iletilmeden zemine sızmaktadır [19], [20]. Ayrıca, sistemde sayaç hatalarından ve kaçak kullanımlardan kaynaklanan kullanımlar sonucunda idari kayıplar gözlenmektedir. Son olarak sistemde park-bahçe ve cami gibi yasal ancak faturalandırılmayan kullanımlar da meydana gelmektedir. Özetle dağıtım sistemine verilen suyun belli bir kısmı gelir getiren suyu oluştururken (faturalandırılmış yasal kullanımlar), geri kalan kısmı ise (idari kayıplar, sızıntılar (fiziki kayıplar), faturalandırılmamış yasal kullanımlar) gelir getirmeyen su olarak ifade edilmektedir [2,19,20]. Ülkemizde 2014 yılında yayınlanan “Su kayıplarını Kontrolü ve Önleme Yönetmeliği” ile su idareleri ve belediyeler yıllık olarak kayıp oranlarını Uluslararası Su Birliği (IWA) tarafından önerilen standart su dengesini esas alarak raporlamakta ve yayınlamaktadır. Bu tabloda ana bileşenler kıyaslandığında genel olarak sızıntı hacmi ve oranı diğerlerine göre oldukça yüksek seviyededir. Sızıntı hacminin yüksek olması, arıza oranının yüksek olduğu ve buna bağlı olarak işletme maliyetinin fazla olduğu anlamı taşımaktadır. Özellikle su kaynağı sorunu yaşayan ve su üretiminde enerji kullanan idarelerde sızıntı hacminin fazla olması kaynak verimsizliğine neden olmaktadır. Bu sistemlerde talebin karşılanması için yeni kaynak arayışına gidilmekte, sisteme daha fazla su verilmekte ve enerji tüketimleri ve maliyetleri artmaktadır. Bu nedenle bu olumsuz etkilerin azaltılması için sistemin mevcut durumu, arıza ve sızıntı oranları ve bunları etkileyen faktörler göz önüne alınarak, uygulanabilirlik, ekonomik ve uygunluk ölçütlerine göre en uygun yöntemin uygulanması gerekir. Su kayıp yönetimi yöntemlerine karar verilirken, saha imalatları, ekipman maliyetleri, işçilik gibi maliyetler oluşturacağı için detaylı analiz yapılmalıdır.

Dağıtım sistemlerinde yeni sızıntıların oluşmasında şebeke özellikleri, işletme ve çevresel faktörler etkilidir [2]. Sızıntıların azaltılmasında bu faktörlerin kontrol altına alınması ve yönetilmesi oldukça önemlidir. Basıncın düzenlenmesi ve basınç dalgalanmasının azaltılması için uygulanan basınç kontrolünün mevcut arızalarda sızıntı hacminin ve yeni arıza oluşma riskinin azalması ve borunun ekonomik ömrünün uzaması gibi önemli katkılar sunmaktadır [5,12,21]. Doğrudan ölçümlere dayanarak farklı çapta borular ve koşullar için sızıntı ve basınç arasındaki ilişkiyi tanımlayan FAVAD yöntemini (Denklem (1)) önerilmiştir [3]. Pratik uygulamalar için FAVAD teorisinde, basınç ve sızıntı arasındaki ilişki N_1 katsayısı ile tanımlanmıştır [3,22]. Basınç sızıntı ilişkisindeki denklem esas alınarak, arıza frekansındaki değişim basınç ve N_2 katsayısına göre ifade edilmiştir. Bu denklemde, N_1 'e benzer bir üs kullanılmakta ve yeni arızaları tahmin etmek için N_2 önerilmiştir [23].

$$L_0/L_1 = (P_0/P_1)^{N_1} \quad (1)$$

$$B_0/B_1 = (P_0/P_1)^{N_2} \quad (2)$$

B_0 ve B_1 sırasıyla P_0 ve P_1 basınç seviyelerindeki arıza oranını ifade etmektedir. L_0 ve L_1 sırasıyla P_0 ve P_1 basınç seviyelerindeki sızıntıları temsil etmektedir, P_0 başlangıçta bölgedeki ortalama basıncı ve P_1 bölgede düzenlenmiş ortalama basıncı ifade etmektedir. Diğer taraftan N_1 katsayısı, sızıntı katsayısıdır (sabit alan sızıntıları için $N_1 = 0.5$, değişken alan sızıntıları için, $N_1 = 1.5$, büyük sistemlerde veya boru malzemesinin karışık olduğu şebekelerde $N_1 = 1.0$) [21]. Şekil 1’de verilen referans grafik FAVAD denkleminde göre farklı sızıntı katsayıları (N_1) için basınç değişimi ile sızıntı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Böylelikle farklı boru cinslerine sahip şebekede meydana gelen basınç değişimlerinin sızıntılar üzerindeki etkisi belirlenmektedir. Basınç-sızıntı analizi için öncelikle sistemin ağırlıklı ortalama gece basıncının ölçülmesi ve sistemde basınç değişim sınırlarının tanımlanması gerekir.

III. BASINÇ KONTROL YÖNETİMİNİN MALİYET ANALİZİ İÇİN HESAPLAMA ARACININ GELİŞTİRİLMESİ

Dağıtım sistemlerinde sızıntıların azaltılması ve yönetilmesi amacıyla, izole bölgelerin oluşturulması, arıza onarım hızı ve kalitesinin iyileştirilmesi, basınç kontrolü ve boru malzemesi yönetimi gibi birçok yöntemin önerildiği görülmektedir [2]. Bu yöntemlerin uygulanması durumuna göre sızıntı hacimlerinde azalma meydana gelmektedir. Ancak bu yöntemlerin planlama ve saha uygulamaları çeşitli gereksinimlere ihtiyaç duymakta ve farklı seviyelerde maliyetler oluşturmaktadır. Yeni arıza ve sızıntı oluşumunda önemli bir etkiye sahip olan işletme basıncı, bölgedeki su tüketim karakteristiği, tasarım ölçütleri ve arıza yoğunluğuna bağlı olarak farklı seviyelerde olmakta ve dalgalanmalara sahip olmaktadır. Bu tür dalgalanmaların azaltılması ve kontrol altına alınması için basınç kontrol yönetimi yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Ancak uzun vadeli su, enerji ve ekonomik verimliliğinin sağlanması ve sürdürülebilir bir yönetim planının tanımlanması için bu yöntemler uygulanmadan önce maliyet bileşenleri ve faydalar analiz edilmelidir. Bu analizlerin doğru ve sistematik yapılabilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada içme suyu dağıtım sistemlerinde basınç kontrol yönetimi uygulamaları için fayda maliyet analizi gerçekleştirilen ve karar vericiler için referans bilgi üreten hesaplama aracı geliştirilmiştir. Bu hesaplama aracında saha çalışmaları ve uygulamaları (Kayseri KASKİ ve Malatya MASKİ saha uygulamaları) esas alınarak maliyet bileşenleri ve değerleri tanımlanmıştır. Sınırları tanımlanmış bir izole bölgede basınç kontrolünün uygulanması önemli avantajlar sağlamaktadır. Hesaplama aracında kullanıcılar tarafından öncelikli olarak temel verilerin girilmesi gerekmektedir (Şekil 1) [24]. Bu nedenle geliştirilen hesaplama aracında izole bölge oluşturma faaliyetleri için maliyet bileşenleri analiz edilmektedir. İzole bölge analizleri basınç yönetimi analizleri ile bütünleşik çalışmaktadır [24].

Değişken Adı	Açıklama	Değer	Birim
Ölçülen Minimum Gece Debisi	MNF analiz #55 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	l/s
Ortalama Sistem Basıncı (P ilk)	MNF analiz #21 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	m
Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)	ILI analiz #9 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	km
Bölgede Kaydedilen Yıllık Şebeke Arıza Sayısı	PI analiz #34 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	adet
Fiziksel Kayıp Miktarı	Su dengesi hesaplanmış ise 'Fiziki Kayıplar (m3)' değeri alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	m3
Yıllık Kaçınılmayan Fiziki Kayıp Hacmi (UARL)	ILI analizinde hesaplanan UARL değeri alınmalıdır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	l/gün
Bölgede Kaydedilen Yıllık Abone Arıza Sayısı	PI analiz #35 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	adet
Birim Su Üretim Maliyeti	PI analiz #45 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	TL/m3
Bölgede kaydedilen Yıllık Toplam Rapor Edilen Arıza Sayısı	PI analiz #36 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	adet
Toplam Abone Sayısı	ILI analiz #4 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	adet
Faturalandırılmış Ölçülmüş Yasal Tüketim	Su dengesi hesaplanmış ise 'Faturalandırılmış Ölçülmüş Yasal Tüketim (m3)' değeri alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	m3
Suyun Birim m3 için Satış Bedeli	PI analiz #56 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	<input type="text" value="0"/>	TL / m3

Şekil 1. Ekonomik analiz hesaplama aracı veri giriş ekranı

Şekil 1'deki veri giriş ekranında girilmesi gereken en temel veri bölgedeki ortalama işletme basıncıdır. Bu parametrede doğrudan sahada ölçülen ve düzenli tutulan verileri içermektedir. Diğer girilmesi gereken değişken, şebeke ana hat uzunluğu olup izole bölgede coğrafi bilgi sistemler ile belirlenmektedir. İzole bölge tasarımında dikkate alınan en temel parametre olan hat uzunluğunun fazla olması, sistemin kontrolünü zorlaştırmaktadır. Bir dağıtım sisteminde arızaların belli bir kısmı yüzeye çıkar ve bunlar rapor edilen arızalar olarak ifade edilir. Bu arızaların yönetilmesi için uygulanan yöntem pasif kaçak kontrolü olarak adlandırılır. Bu arızaların belli bir kısmı şebeke ana hat ile bina arasındaki servis bağlantılarında (servis bağlantı arızaları) meydana gelirken, belli bir kısmı da şebeke ana hat üzerinde oluşmaktadır. İzole bölgedeki sızıntı hacmini ifade eden fiziki kayıp hacmi, standart su dengesine ve/veya minimum gece debisi analizine göre belirlenebilmektedir. Dağıtım sistemlerinde maliyet oluşturan en önemli bileşen su üretim maliyetidir. Terfi ve içme suyu arıtma tesislerinin olup olmamasına göre bu maliyetler değişmektedir. Bu maliyetlerin doğru belirlenmesi, sistemde su satış bedelinin doğru bir şekilde analiz edilmesi üzerinde etkilidir. Bir izole bölge veya dağıtım sisteminde mevcut arızalardan birim zamanda kaybolan su miktarının artmasında en önemli faktör sistemdeki yüksek basınç gösterilmektedir. Bu nedenle dağıtım sisteminde sızıntı oranının azaltılması için basınç kontrol yönetimi uygulanmaktadır. Ancak daha önceden de bahsedildiği gibi basınç yönetiminin uygulanabilmesi için izole bölgenin oluşturulması oldukça önemlidir. Bu nedenle önceki bölümde verilen izole bölge tasarımı ve ekonomik analizleri yapılan bir sistemde basınç yönetimi uygulanması durumunda ortaya çıkan maliyetlerin analizi için standart bir yapı oluşturulmuştur. Bu standart yapıda ekonomik analiz için gerekli olan veriler ve analiz bileşenleri tanımlanmıştır. Basınç yönetimi fayda maliyet analizi için hesaplama aracında geliştirilen veri giriş ekranı Şekil 2'de verilmektedir. Bu verilerin girilmesi için sistem tarafından ekonomik analiz yapılmaktadır. Veri giriş ekranı incelendiğinde, basınç yönetimi uygulanacak bölgede mevcut durumda ölçülen debi ve sistem işletme basıncı gibi temel veriler kullanıcı tarafından sisteme tanımlanmalıdır. Ayrıca, bölgede basınç yönetimi uygulanması durumunda oluşacak yeni basınç (minimum basınç değeri) sistem koşulları ve yönetmelik esas alınarak tanımlanır.

Referans Debinin Belirlenmesi	Açıklama	Değer	Birim
Basınç Yönetiminden Önce Ölçülen Debi	MNF analiz #55 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde "Veri Girişi" bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	82.00	l/s
Debi Değişiminin Hesaplanması	Açıklama	Değer	Birim
Ortalama Sistem Basıncı (P ilk)	MNF analiz #21 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde "Veri Girişi" bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	55.00	m
Yeni Sistem Basıncı (P son)	İller bankası yönetmeliğine göre nüfusu 50.000 kişiden fazla olan bölgeler için min. 30, az olan bölgeler için min. 20 mss alınabilir. Şebekenin durumuna göre kullanıcı veriyi girmelidir.	<input type="text" value="25"/>	m

Şekil 2. Basınç yönetimi için temel verilerin ve minimum basınç seviyesinin tanımlanması

Bilindiği üzere basınç ve sızıntı arasındaki ilişkinin tanımlanmasında en yaygın kullanılan denklem FAVAD yaklaşımıdır [3,25]. Bu yaklaşımda basınçtaki değişime bağlı olarak sızıntıda meydana gelen değişim analiz edilmektedir. Bu değişimin analizinde en önemli faktör "sızıntı üs katsayısı olarak ifade edilen N1 katsayısı" gösterilebilir. Bu katsayı boru malzeme türüne göre (sabit alan ve değişken alan sızıntıları) belirlenmektedir [5]. Geliştirilen bu hesaplama aracında N1 katsayısı bölgeye özel olarak hesaplanmaktadır. Bunu sağlamak için kullanıcı tarafından bölgedeki ağırlıklı boru cinsinin sisteme tanımlanması gerekir (Şekil 3). Boru malzeme tipinin seçimine bağlı olarak N1 katsayısı arka planda tanımlanan hesaplama şablonu ile otomatik olarak belirlenmektedir.

N1 Katsayısının Belirlenmesi	Açıklama	Değer	Birim
Şebeke Ağırlıklı Boru Cinsi	Kullanıcı analiz yaptığı şebekede ağırlıklı olarak kullanılan boru cinsini girecektir.	<input type="text" value="PVC"/>	
N1 Katsayısı	Girilen boru cinsine göre N1 katsayısı belirlenmektedir.	1.50	

Şekil 3. Basınç Yönetimi için şebeke ağırlıklı boru cinsinin girilmesi ve sızıntı katsayısının (N₁) hesabı

Yukarıda tanımlandığı şekilde hesaplama aracına veri girişinin yapılması sonucunda, seçilen basınç seviyesine göre basınç yönetiminin uygulanması durumunda oluşan yeni kayıp miktarları Şekil 4'teki gibi

hesaplanmaktadır. Böylece basınç seviyesine bağlı olarak oluşacak muhtemel sızıntı miktarları belirlenmiş olmaktadır.

Yeni Sistem Basıncı (P son)	İller bankası yönetmeliğine göre nüfusu 50.000 kişiden fazla olan bölgeler için min. 30, az olan bölgeler için min. 20 mss alınabilir. Şebekenin durumuna göre kullanıcı veriyi girmelidir.	<input type="text" value="25"/>	m
Basınç Yönetiminden Sonra Ölçülen Debi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	25.13	l/s
Fiziksel Kayıplardaki Azalma Yüzdesi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	69.35	%

Şekil 4. Basınç yönetiminde seçilen basınç seviyesine göre yeni kayıp miktarının hesabı

Bir dağıtım sistemindeki yüksek basınç veya basınçtaki değişim mevcut arızalardaki sızıntı miktarının üzerinde etkili olduğu kadar yeni arıza oluşumunda da etkili olmaktadır. Geliştirilen hesaplama aracında basınç seviyesine bağlı olarak oluşabilecek arızaların belirlenmesi için Şekil 5'te gösterilen hesaplama şablonu oluşturulmuştur.

S Katsayısının Belirlenmesi	Açıklama	Değer	Birim
Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)	IL analiz #9 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	81.00	km
Bölgede Kaydedilen Yıllık Şebeke Arıza Sayısı	PI analiz #34 verisi girilmişse ilgili değer alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	14.00	adet
Referans Arıza Sayısının Belirlenmesi	Arıza sayısı Lambert (2009) çalışmasına göre her 100 km için 13 arızaya denk gelmektedir. Mevcut şebeke uzunluğuna göre yeni referans sayı hesaplanmaktadır.	10.53	adet
S Katsayısının Belirlenmesi	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	0.40	
Arıza Değişiminin Hesaplanması	Açıklama	Değer	Birim
Arızadaki (Frekansındaki) Azalma	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	21.58	%
Yeni Yıllık Şebeke Arıza Sayısı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	11.00	adet

Şekil 5. Basınç yönetiminde seçilen basınç seviyesine göre basınç-arıza ilişkisinin tanımlanması

Bu şablonda kullanıcı tarafından şebeke bilgileri, mevcut arıza sayısı tanımlandıktan sonra, yeni basınç seviyesine göre arıza frekansındaki değişimler hesaplanmaktadır. Bu hesaplama için önceki bölümlerde tanımlanan ve FAVAD denkleminde elde edilen yaklaşım esas alınmıştır. Şekil 4'ten de görüldüğü gibi, basınç yönetiminin uygulanması ile arıza sayılarının ve değişimlerinin tahmini değerleri hesaplanmaktadır. Böylece bölgede basınç yönetiminin sağlayacağı fayda ortaya konulmuş olacaktır. Basınç yönetimi ve aktif kaçak kontrolü gibi yöntemlerin uygulanmasında izole bölge tasarımı en temel adım olarak gösterilebilir. İzole bölge, sınırları tanımlanmış, diğer bölgelerden ayrılmış ve bileşenleri kendi içinde değerlendirilen bir sistem olarak tanımlanır [2]. İzole bölgeler ve bileşenleri (şebeke uzunluğu, servis bağlantı sayısı ve abone sayısı) diğer sistemlerden izole edildiği gibi yönetilmesi ve işletilmesi daha kolay olmaktadır [26,27]. İzole bölge tasarımında (şebeke veri güncelleme, izolasyon vana yeri ve sayısı belirleme) ve saha uygulamalarında (sıfır basınç testi ve ekipmanların kurulumu) çeşitli maliyetler oluşmaktadır [24]. Bu bölümde izole ölçülebilir bölge planlama ve uygulamaları için maliyet bileşenleri saha verilerine göre belirlenmiş ve geliştirilen araca tanımlanmıştır (Şekil 6) [24].

Şebeke ve DMA Bilgilerinin Tanımlanması	Açıklama	Değer	Birim
Şebeke Anahat Uzunluğu (Lm)	ILI analiz #9 verisi girilmişse ilgili değer (x1000) katı alınacaktır. Aksi takdirde 'Veri Girişi' bölümünden veri girilmesi gerekmektedir.	60,000.00	m
Ortalama DMA Uzunluğu	DMA tasarımında hat uzunluğunun ortalama olarak 15.000 m olabileceği vurgulanmıştır (Farley vd., 2008)	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer 15000	m
Gerekli Minimum DMA Sayısı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	4.00	adet
Mevcut DMA Sayısı	Şebekede mevcut DMA olması durumunda girilecektir.	<input type="text" value="0"/>	adet
İhtiyaç olan DMA Sayısı	Girilen veriler doğrultusunda hesaplanmaktadır.	4.00	adet
Belirlenmesi Gerekli Sınır Vanası Sayısı	Her DMA için 4 adet sınır vanasına ihtiyaç duyulduğu varsayılmıştır.	16.00	adet /1 DMA
İhtiyaç Olan Debimetre Odası Sayısı	Her DMA için 1 adet ihtiyaç duyulduğu varsayılmıştır.	4.00	adet /1 DMA
İhtiyaç Olan Sıfır Basınç Testi Sayısı	Her DMA için 2 adet ihtiyaç duyulduğu varsayılmıştır.	8.00	adet /1 DMA
İzleme, İşletme ve Altyapı Kurulumu	Her DMA için 1 adet ihtiyaç duyulduğu varsayılmıştır.	4.00	adet /1 DMA

Şekil 6. İzole bölge analiz modülünde şebeke ve ÖAB bilgilerinin tanımlanması

Şekil 6'da, izole bölge tasarımında dikkate alınan temel parametreler şebeke ana hat uzunluğu (ortalama olarak 15 km önerilmiştir), servis bağlantı sayısı (500-300 arasında) ve abone sayısı şeklindedir. Şebeke ana hat uzunluğu geliştirilen hesaplama aracında 15 km girilmiş olup kullanıcı çalıştığı bölgedeki uzunluğu girebilmekte ve değiştirebilmektedir. Uygulama alanında daha önceden planlanan izole bölge sahada uygulanıyorsa hesaplama aracına bölge sayısı girilmelidir. İzole bölgelerin oluşturulması ve diğer bölgelerle giriş/çıkışların kontrol altına alınmasında izolasyon vanaları önemli rol oynamaktadır (bu hesaplama aracında standart sayı 4 olarak belirlenmiş olup değiştirilebilir özelliğindedir). Maliyet oluşturan diğer önemli bir parametre ise bölgedeki ölçüm cihazlarıdır (debimetre ve basınçölçer sayısı 1 alınmış olup değiştirilebilir). Bölgenin tam olarak izole edilip edilmediğinin kontrolü için sahada test edilmesi gerekir. Bu amaçla uygulanan yöntem sıfır basınç testidir (bu hesaplama aracında her bir bölge için 2 adet test tanımlanmış olup değiştirilebilir). Tanımlanan bu maliyet bileşenleri dikkate alınarak toplam ve birim izole bölge oluşturma maliyetleri hesaplanmaktadır (Şekil 7) [24].

Maliyetlerin Tanımlanması	Açıklama	Değer	Birim
Sınır Vanası Maliyeti	Söz konusu fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları ve özel piyasa araştırmaları ile hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer ₺ 1850	TL / Adet
Debimetre Odası Maliyeti	Söz konusu fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları ve özel piyasa araştırmaları ile hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer ₺ 70000	TL / Adet
Sıfır Basınç Testi Maliyeti	Söz konusu fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları ve özel piyasa araştırmaları ile hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer ₺ 750	TL / Adet
İzleme, İşletme ve Altyapı Kurulum Maliyeti	Söz konusu fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları ve özel piyasa araştırmaları ile hesaplanmıştır.	<input checked="" type="radio"/> Standart Değer <input type="radio"/> Manuel Değer ₺ 25000	TL / Adet

DMA Birim Maliyetin Hesaplanması	Açıklama	Değer	Birim
Maliyetler Toplamı	Belirlenen değerler doğrultusunda DMA kurulumu maliyeti toplamını vermektedir.	415,600.00	TL
Birim DMA Maliyeti	Birim metre başına bir bölge için DMA oluşturulması maliyeti vermektedir.	6.93	TL / m

Şekil 7. İzole bölge analiz modülünde maliyetlerin analizi

İçme suyu dağıtım sistemlerinde uygulanan yöntemlerin verimliliğinin (ekonomik) analiz edilmesi sürdürülebilir şebeke yönetimi için oldukça önemlidir. Görüldüğü gibi geliştirilen bu hesaplama aracında en temel sızıntı önleme yöntemlerinden biri olan basınç yönetimi uygulamaları için fayda maliyet bileşenleri analiz edilmektedir. Böylece bu yöntem uygulanmadan önce teknik personel ve karar vericiler için referans oluşturacak analizler ve raporlar oluşturmak mümkün olmaktadır.

IV. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, izole bölgede basınç kontrol yönetimi ve izole bölge tasarımı için fayda ve maliyet bileşenleri tanımlanarak web tabanlı hesaplama aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen hesaplama aracında basınç yönetiminin uygulanması durumunda arıza sayısı ve sızıntı hacimlerinde meydana gelen değişimler ve elde edilecek faydalar analiz edilebilmektedir. Bölgede şebekenin başlangıç koşullarındaki işletme ve fiziksel verileri dikkate alınarak muhtemel basınç yönetimine göre arıza ve sızıntı oranındaki muhtemel değişimler önceden tahmin edilmektedir. Böylece basınç yönetiminin uygulanması ile ortaya çıkan maliyetlerin, bu yöntemin uygulanması ile elde edilecek faydalarla kıyaslanması mümkün olmaktadır. Geliştirilen hesaplama aracında ayrıca, izole bölge tasarımı için maliyet analizini içeren modül geliştirilmiştir. Basınç yönetiminden beklenen faydanın elde edilmesi ve uygulanabilirliğinin sağlanması için izole bölge tasarımı oldukça önemlidir. Bu nedenle basınç yönetimi analizlerinde izole bölge tasarımı ve uygulama maliyetleri de göz önünde bulundurulmalıdır. İzole bölge tasarım maliyet analiz modülünde şebeke özelliklerine göre sistemde planlanması gereken izole bölge sayısı, izolasyon vana sayısı, sıfır basınç test sayısı hesaplanmaktadır. Ayrıca, birim hat uzunluğu başına izole bölge tasarım maliyetleri ve toplam maliyetler analiz edilmektedir. Geliştirilen bu hesaplama aracının basınç yönetimi uygulamaları için önemli katkılar sunacağı ve uygulayıcılar için referans teşkil edeceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, (İÜ-BAP FDK-2020-2053) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Lambert, A. O. & Mckenzie, R. (2001). Econoleak: Economic model for leakage management for water suppliers in South Africa. *African Water Res. Comm.*, 169, 02.
- [2] Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z.B.M., Istandar, A. & Singh, S. (2008). The Manager's Non-Revenue Water Handbook. A Guide to Understanding Water Losses. Washington DC, Development Alternatives Inc (DAI), USA.
- [3] May, J. (1994). Pressure dependent leakage. *World Water and Environmental Engineering*.
- [4] Lambert, A.O. & Morrison, J.A.E (1996). Recent developments in application of 'Bursts and Background Estimates' concepts for leakage management. *J. Int. Water Environ. Manag.*, 100–104.
- [5] Lambert, A.O., Brown, T.G., Takizawa, M. & Weimer, D. (1999). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *J. Water Supply Res. Technol. - AQUA*, 48(6), 227–237.
- [6] Fanner, P., Thornton, J., Liemberger, R. & Sturm, R. (2007). Evaluating water loss and planning loss reduction strategies. *Awwa Research Foundation*.
- [7] Fanner, P. & Lambert, A.O. (2009). Calculating SRELL with pressure management, active leakage control and leak run-time options, with confidence limits. *Proc., WaterLoss 2009, IWA Int. Conf., IWA Publ.*, 373–380.
- [8] Vicente, D.J., Garrote, L., Sánchez, R. & Santillán, D. (2016). Pressure management in water distribution systems: Current status, proposals, and future trends. *J. Water Resour. Plan. Manag.*, 142(2), 1–13.
- [9] Gomes, R., Marques, A.S. & Sousa, J. (2011). Estimation of the benefits yielded by pressure management in water distribution systems. *Urban Water J.*, 8(2), 65–77.
- [10] Thornton, J. (2011). Pressure Management Cases From Around the World.
- [11] Kanakoudis, V. & Gonelas, K. (2016). Non-revenue water reduction through pressure management in Kozani's water distribution network: from theory to practice. *Desalin. Water Treat.* 57(25), 11436–11446.
- [12] Creaco, E. & Walski, T. (2017). Economic analysis of pressure control for leakage and pipe burst reduction.

J. Water Resour. Plan. Manag.,143(12).

- [13] Samir, N., Kansoh, R., Elbarki, W. & Fleifle, A. (2017). Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. *Alexandria Eng. J.*, 56(4), 601–612.
- [14] Fontana, N., Giugni, M., Glielmo, L., Marini, G. & Zollo, R. (2018). Real-time control of pressure for leakage reduction in water distribution network: Field experiments. *J. Water Resour. Plan. Manag.*, 144(3), 1–12.
- [15] Moslehi, I., Jalili-Ghazizadeh, M. & Yousefi-Khoshqalb, E. (2020). Developing a framework for leakage target setting in water distribution networks from an economic perspective. *Struct. Infrastruct. Eng.* 1–17.
- [16] Charalambous, B. & Kanellopoulou, S. (2010). Applied Pressure Management Techniques to Reduce and Control Leakage. *Proc. IWA Int. Spec. Conf. Water Loss* 1–12.
- [17] Kanakoudis, V. & Gonelas, K. (2015). Estimating the Economic Leakage Level in a water distribution system. *Water Resour. Manag. a Chang. World Challenges Oppor.*, 1–7.
- [18] AL-Washali, T., Sharma, S. & Kennedy, M. (2016). methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review. *Water Resour. Manag.*, 30(14), 4985–5001.
- [19] Lambert, A. & Hirner, W. (2000). Losses from water supply systems: Standard terminology and recommended performance measures, blue pages, IWA.
- [20] Pearson, D. & Trow, S.W. (2005). Calculating the Economic Levels of Leakage. *Leakage 2005 Conf. Proc.*,1–16.
- [21] Lambert, A. & Thornton, J. (2012). Pressure : Bursts Relationships : Influence of Pipe Materials , Validation of Scheme Results , and Implications of Extended Asset Life. *Water Loss 2012*, 2–11.
- [22] Lambert, A. & Lalonde, A. (2005). Using practical predictions of Economic Intervention Frequency to calculate Short-run Economic Leakage Level, with or without Pressure Management. *Leakage Conf. Proceeding*,1–12.
- [23] Thornton, J. & Lambert, A. (2005). Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships. *IWA Spec. Conf.*, 1–10.
- [24] Yılmaz, Y. (2021). Su Kayıp Yönetiminde Ekonomik Kaçak Seviyesinin Optimizasyon Algoritmalarıyla Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi.
- [25] Lambert, A., Charalambous, B., Fantozzi, M., Kovac, J., Rizzo, A. & Galea, S. (2014). 14 Years Experience of using IWA Best Practice Water Balance and Water Loss Performance Indicators in Europe. *Proc. WaterLoss Conf.* 1–31.
- [26] Fallis, P. (2011). Guidelines for Water Loss Reduction, 236.
- [27] Gomes, R., Marques, A.S.A. & Sousa, J. (2013). District Metered Areas Design Under Different Decision Makers' Options: Cost Analysis. *Water Resour. Manag.*,27(13), 4527–4543.

Araştırma Makalesi - Research Article

A New Chemical Method to Predict Grindability Index (HGI) for Limestones

Kireçtaşları İçin Yeni Bir Kimyasal Öğütme İndeksi

Candan Bilen^{1*}

Geliş / Received: 18/09/2021

Revize / Revised: 20/02/2022

Kabul / Accepted: 08/03/2022

ABSTRACT

In this study, limestone samples (a total of 58 sample) were investigated in terms of their grindability and chemical composition. Grindability tests were carried out on standard HGI mill. Limestone samples were collected from two different limestone quarry and they were characterized in terms of their chemical composition. In the order of technological utilization, grindability nature of limestones is as significant as their chemical composition. Chemical composition of the limestone samples from the quarries under investigation differs and so does the grinding index, i.e. HGI (Hardgrove Grinding Index). In the context of this study, chemical composition data of limestone samples were correlated with the results of the grinding tests (HGI values). In addition, abovementioned correlations were provided as graphical demonstrations in this context. After these abovementioned graphical demonstration of the relationships between HGI values and chemical composition data, the role of the each chemical composition item in terms of grindability was understood. Based on this understanding, an empirical formula employing the chemical composition data was proposed to predict HGI.

Keywords- *Limestone Quarry, Chemical Composition, HGI, Modeling, Limestone Grinding*

ÖZ

Bu çalışmada, kireçtaşı numuneleri (toplam 58 numune) öğütülebilirlik ve kimyasal bileşim açısından incelenmiştir. Öğütülebilirlik testleri standart HGI değirmeninde gerçekleştirilmiştir. Kireçtaşı örnekleri iki farklı kireçtaşı ocağından alınmış ve kimyasal bileşimleri açısından karakterize edilmiştir. Teknolojik kullanım sırasına göre, kireçtaşının kimyasal bileşimi kadar öğütülebilirliği de önemlidir. İncelenen ocaklardan alınan kireçtaşı numunelerinin kimyasal bileşimleri ve öğütme indeks (Hardgro ve Öğütülebilirlik İndeksi) değerleri farklıdır. Bu çalışma kapsamında, kireçtaşı numunelerinin kimyasal bileşim verileri ile öğütülebilirlik test sonuçları (HGI değerleri) ile ilişkilendirilmiştir. Bunun yanında, belirtilen bu ilişkilendirmeler grafiksel gösterim olarak bu kapsamda verilmiştir. HGI değerleri ile kimyasal bileşim verileri arasındaki ilişkilerin grafiksel gösteriminden sonra, her bir kimyasal bileşim öğesinin öğütülebilirlik açısından rolü anlaşılmıştır. Bu çalışma kapsamında HGI'yi tahmin etmek için kimyasal bileşim verilerini kullanan ampirik bir formül önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Kireçtaşı Ocağı, Kimyasal Bileşim, HGI, Modelleme, Kireçtaşı Öğütme*

^{1*}Corresponding author contact: calptekin@beun.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-9209-0872>)

Department of Geological Engineering, Engineering Faculty, Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey

I. INTRODUCTION

Limestone which has calcite as dominant mineral is being utilized as a raw material by human beings for a long time. Limestone has wide field of utilization and it is mainly demanded by the construction industry. In addition to utilization in terms of construction purposes, it has also potential usage in metallurgy, agriculture. Flue gas desulfurization is also another field of industry which limestones are widely utilized as raw materials. In many industries abovementioned however, in addition to its specific chemical composition limestone should also be ground and have the form of powder.

Limestones are formed mainly as sedimentary rocks and the main formation conditions include climate and absence of clay or sandy material [1]. Limestones have mostly calcium carbonate or magnesium carbonate compounds and some impurities like iron, aluminum, silica, and sulfur presents at different amounts (depending on the type and formation) in their structures. Limestones are mostly classified in terms of their origin, geological formation, mineralogical structure, crystal form, chemical composition, color and hardness. Limestones are also classified depending on their carbonate amounts. In terms of carbonate classification, Folk [2,3] and Dunham [4] classification systems are the most common ones.

Grindability of a material is characterized by the amount of the work/energy required for a unit weight/volume of material to be ground to a specific size distribution [5]. Ore grindability is represented by the Bond work index value [6] and Mucsi et al. [5] have summarized the most widely known and utilized grindability tests as Bond, Hardgrove and Zeisel methods [7-9]. Many researchers [10-14] have employed BWI to address the limestone grindability. Musci et al. [5] have investigated the grindabilities of andesite, basalt, clinker, limestone and quartz. Referring back and forth to the study of Mucsi et al. [5], although it has not been addressed and emphasized, chemical composition along with the HGI values of abovementioned materials (andesite, basalt, clinker, limestone and quartz) were provided. As it is obvious and expected, change in chemical composition results in a change in grindability values, i.e. HGI in this case. According to the Seo et al. [15], difference in grinding efficiency depends on the chemical composition and crystal structure. Same authors [15] have employed HGI to understand the grindabilities of limestones and they have claimed the fact that HGI measurement is rather easier and not as much time consuming as compared to BWI (Bond Work Index) measurement. HGI method, although some disadvantages [16-18] and repeatability issues [19, 20] are associated with, is widely known and mostly addressed in terms of grindability specifications (especially for coal in terms of international trade) and mostly considered for design and optimization of grinding circuits [16].

In the study of Mendis et al. [21], chemical composition, moisture content and particle size are considered as the effective factors of raw material in terms of grindability and authors have claimed the fact that grindability is mainly affected by the chemical composition. According to Kural and Ozsoy [22], chemical and physical factors of raw material are the main reasons in terms of low grindability. Mendis et al. [21] have addressed the percentages of SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Cl, SO₃, Na₂O, and K₂O in limestones in order to assess relationships between grindability and chemical composition. In the study of same authors [21], it was shown that increase in CaO (%) resulted in an increase in grindability. Although some chemical composition data is interrelated to grindability, authors [21] have employed no.212 sieve residue rather than any grindability index values. Although employment of the method abovementioned to address the relationship between grindability and chemical composition is acceptable to some extent, assessment in terms of grindability index (HGI or BWI) could have been more reasonable.

Researchers [23] have investigated the effect of chemical composition on Portland cement clinker grindability. In addition, Ürünveren et al. [24] have tried to predict HGI values of Afşin-Elbistan (Turkey) Low-grade coals based on proximate analysis and ash chemical composition. Although prediction of HGI (for coal mostly) is more of concern by many researchers [25-27], some other researchers [28] have investigated the grindability behavior of clinker and colemanite. Although no recent research have investigated the relationship between chemical composition and grindability index values (HGI) as in the same context of this study, still some studies [23,29] have been conducted in terms of clinker composition and grindability.

Grindability is most of the time significant issue in terms of energy requirements of milling, and pulverized limestones are generally desired for the further utilization of limestones. In this regard, not only chemical composition data of limestones are mostly referred but also the grindability is. While having chemical composition data on hand, if further utilization needs milling, field engineers should be aware of the grindability values of the corresponding limestones. So, in this context, chemical composition data can be interrelated with grindability index values, i.e. HGI, which is not only time consuming experimental procedure but also needs

expertise and significant amount of laboring. In this study, two different limestone quarries (Quarry-1 and Quarry-2) were taken into consideration and a total of 58 limestone samples, i.e. 22 samples from Quarry-1 and 36 from Quarry-2, were collected. Collected samples were analyzed in terms of their chemical composition and grindability tests (HGI) were performed. These analyzes abovementioned resulted in an understanding of the relationship between grindability values and chemical composition data for limestones. Having evaluated the relationships between each chemical component and HGI values, a new chemical grinding index for limestones was proposed.

II. MATERIAL AND METHOD

A. Samples and Sample Preparation

Limestone quarries under investigation are located in Gebze/Kocaeli, Turkey. Number of limestone quarries are being operated in the region where this study conducted. Location map of the quarries where samples are collected from is provided in Figure 1. Geological map of the study area (adapted from the study of Gedik et al. [30]) was provided in Figure 2. General view of limestone quarries studied is provided in Figure 3. Laboratory work along with sampling in the quarry is schematized in Figure 4.

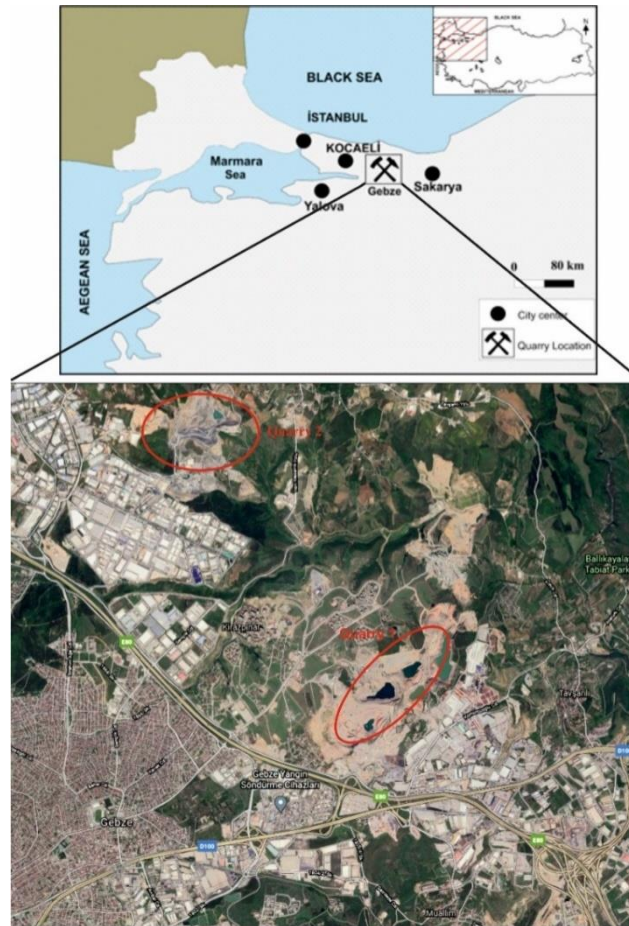


Figure 1. The location map of the study area

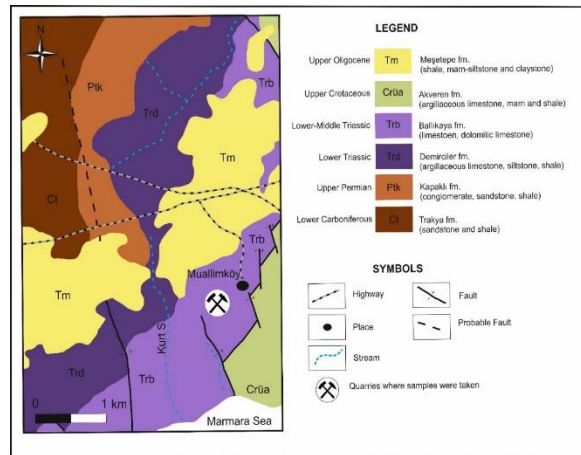


Figure 2. Geological map of the study area (adapted from the study of Gedik et al. [30])

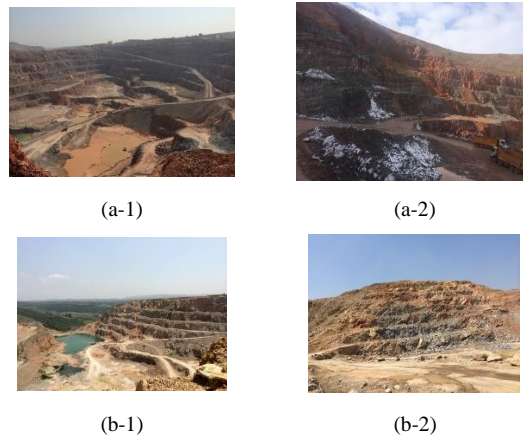


Figure 3. General view of the limestone quarries under investigation, refer to (a-1) and (a-2) for Quarry-1 & (b-1) and (b-2) for Quarry-2.



Figure 4. Schematic representation of the laboratory work and sampling in the quarry.

B. Grinding Tests

Grinding tests were carried out with the standard HGI mill employment. All of the 58 samples were characterized in terms of their HGI values. HGI tests was carried out as in the standard described in ASTM D409-71[8]. In order perform HGI tests, samples were crushed step by step to the size fraction of $-1.18+0.6$ mm, as standard implies for the feed size of HGI mill. After the grinding with HGI mill, final amount(s) ground under 75 μ m were noted. This final amount (ground under 75 μ m with HGI mill) was placed in the equation (1) and HGI value of that specific sample is determined accordingly.

$$\text{HGI}=13.6+6.93.w \quad (1)$$

where w is the weight of the test sample passing through 75 μm sieve.

HGI tests were realized and corresponding HGI values for each limestone samples (a total of 58) were recorded. Representation of HGI testing environment is provided in Figure 5.

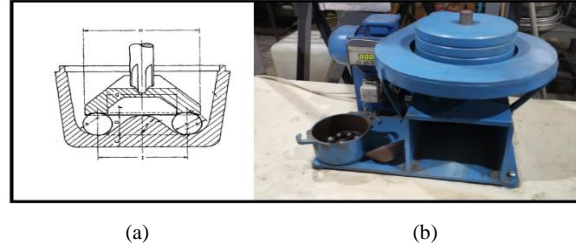


Figure 5. Representation of HGI testing environment, (a) Grinding elements of Hardgrove Machine (adapted from the study of Tichanek [16]), (b) HGI mill employed in this study.

C. Chemical Analyzes

Representative samples of limestone (a total of 58) were collected from the quarries (Quarry-1 and Quarry-2). Collected samples were initially prepared for chemical analysis. This preparation includes size reduction and grinding. In terms of chemical analysis, standard method (ASTM C1271-99 [31]) was taken into consideration and the analysis was carried out with X-ray Fluorescence (XRF). A laboratory view of the XRF equipment (Philips PW-2404) employed for the chemical analyses is provided in Figure 6.



Figure 6. Laboratory view of the XRF equipment.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Limestone samples collected from the quarries were investigated in terms of their chemical composition and their grindability behavior. In order to understand the grindability behavior, HGI tests were performed. The chemical composition data and the corresponding HGI value of each sample were tabulated in Table 1 and Table 2, respectively for Quarry-1 and Quarry-2. As it is previously explained, a total of 58 limestone samples (22 of which is collected from Quarry-1 and 36 of which is collected from Quarry-2) were analyzed and corresponding data was tabulated.

Table 1. Chemical composition data and HGI values of the limestone samples from Quarry-1.

SAMPLE	HGI	MgO (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	LOI (%)	TOTAL (%)
Q1-1	75.82	2.83	8.11	43.68	1.96	3.64	38.43	98.65
Q1-2	74.68	1.62	1.49	52.83	0.83	0.00	42.93	99.70
Q1-3	63.64	4.46	6.86	40.91	2.82	3.52	39.81	98.39
Q1-4	78.34	1.76	1.29	51.68	1.25	0.51	43.21	99.69
Q1-5	65.18	5.80	8.47	40.00	3.59	1.98	39.72	99.55
Q1-6	72.66	2.81	2.71	49.13	1.80	0.00	43.03	99.49
Q1-7	75.82	3.10	3.52	47.80	1.68	1.44	41.80	99.33
Q1-8	79.15	2.12	1.24	51.52	0.57	0.47	43.78	99.69
Q1-9	84.36	0.76	0.97	53.99	0.24	0.32	43.30	99.58
Q1-10	88.16	0.63	1.24	54.42	0.24	0.00	43.14	99.68
Q1-11	79.79	0.87	1.05	53.55	0.43	0.45	42.99	99.34
Q1-12	77.79	12.22	6.74	34.80	1.33	0.00	44.23	99.32
Q1-13	78.48	12.52	2.51	37.09	1.39	0.00	46.06	99.57
Q1-14	78.18	12.11	6.33	35.56	1.39	0.00	44.03	99.41
Q1-15	75.29	11.48	9.39	33.92	1.54	0.00	42.62	98.96
Q1-16	47.71	3.87	5.38	40.48	7.21	2.21	38.83	97.99
Q1-17	69.42	7.99	3.35	41.73	2.08	0.00	44.31	99.46
Q1-18	73.15	12.96	2.34	37.03	1.44	0.00	45.83	99.60
Q1-19	78.89	13.11	1.24	38.08	1.07	0.00	46.12	99.62
Q1-20	66.78	12.78	2.67	37.37	1.03	0.00	45.71	99.56
Q1-21	74.40	12.52	2.32	37.63	1.15	0.00	45.88	99.49
Q1-22	62.20	12.82	2.56	37.26	1.35	0.00	45.52	99.51

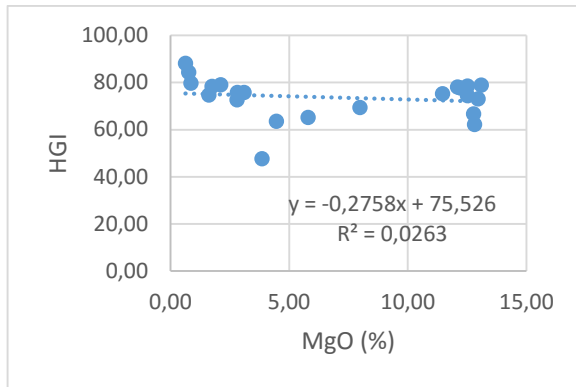
Table 2. Chemical composition data and HGI values of the limestone samples from Quarry-2.

SAMPLE	HGI	MgO (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	LOI (%)	TOTAL (%)
Q2-1	96.69	0.83	4.71	54.24	0.73	1.97	36.71	99.20
Q2-2	95.94	0.46	4.23	54.47	0.68	1.67	37.93	99.44
Q2-3	78.18	0.46	5.23	53.75	1.23	1.86	36.85	99.38
Q2-4	86.75	0.80	11.67	46.59	1.11	2.73	36.19	99.09
Q2-5	66.30	1.76	30.42	27.95	3.39	12.86	19.30	95.68
Q2-6	83.07	0.54	3.81	54.36	0.61	1.33	38.90	99.55
Q2-7	72.14	1.03	14.30	46.58	2.20	6.65	27.18	97.95
Q2-8	86.30	0.53	2.83	54.60	0.85	1.26	39.50	99.57
Q2-9	79.49	0.40	4.70	53.95	0.97	1.45	38.04	99.50
Q2-10	76.91	1.79	6.57	49.87	1.42	2.51	36.56	98.72

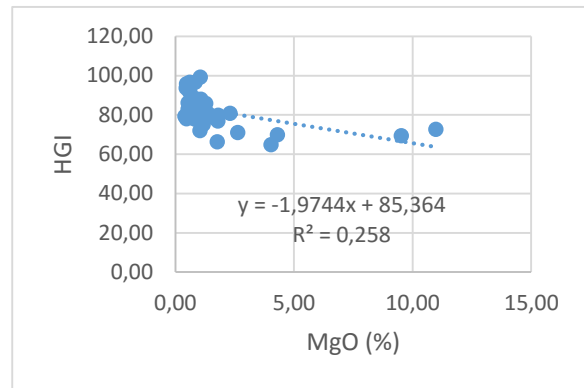
Table 2. Continues

Q2-11	82.78	0.94	4.35	53.79	0.78	1.48	38.05	99.38
Q2-12	72.78	10.98	12.64	35.21	1.98	5.43	32.84	99.07
Q2-13	70.01	4.29	47.33	9.94	2.02	22.28	10.06	95.93
Q2-14	69.55	9.51	2.07	42.57	1.98	1.22	42.40	99.75
Q2-15	80.34	1.41	3.65	53.48	0.65	1.26	39.22	99.67
Q2-16	92.04	0.59	3.28	54.43	0.34	0.59	40.54	99.77
Q2-17	77.91	0.81	7.10	52.63	1.30	3.54	33.46	98.84
Q2-18	93.84	0.45	2.85	54.78	0.28	0.56	40.83	99.75
Q2-19	78.46	0.90	11.09	47.69	1.88	3.71	33.52	98.79
Q2-20	64.84	4.03	24.81	30.77	3.46	8.04	25.95	97.06
Q2-21	78.97	0.90	4.87	53.12	0.83	1.73	37.86	99.31
Q2-22	78.46	1.67	9.55	50.04	1.56	4.03	31.66	98.50
Q2-23	92.33	0.60	2.55	55.37	0.62	0.98	39.56	99.68
Q2-24	96.65	0.60	3.84	54.59	0.72	1.46	38.27	99.47
Q2-25	88.39	0.84	3.81	54.14	0.70	1.64	38.26	99.40
Q2-26	82.59	1.25	4.13	53.01	0.82	1.73	38.21	99.15
Q2-27	88.13	1.07	3.31	54.95	0.61	1.44	38.07	99.46
Q2-28	79.87	1.80	6.59	50.02	1.05	2.41	37.08	98.95
Q2-29	99.23	1.04	2.46	55.25	0.56	1.01	39.26	99.58
Q2-30	75.19	1.16	5.43	52.66	1.51	2.22	36.18	99.15
Q2-31	86.97	1.02	1.78	55.94	0.55	0.64	39.51	99.44
Q2-32	85.88	1.28	4.73	53.34	0.71	1.87	37.39	99.30
Q2-33	78.85	1.66	10.95	47.21	1.65	3.86	33.23	98.55
Q2-34	80.23	0.99	2.27	54.04	0.64	0.77	40.91	99.63
Q2-35	71.17	2.62	9.81	45.89	1.50	2.48	36.64	98.94
Q2-36	80.81	2.30	11.81	45.30	1.59	4.28	33.01	98.30

As it is presented in Table 1 and Table 2, chemical composition data for both quarries includes major oxide percentages (MgO, SiO₂, CaO, Fe₂O₃, Al₂O₃) and LOI (%). Although chemical composition data for both quarry is available for other element oxides like K₂O, TiO₂, P₂O₅, Na₂O, BaO, MnO and etc, tabulated data only includes the abovementioned major oxides, i.e. MgO, SiO₂, CaO, Fe₂O₃, Al₂O₃. This is because of the fact that total percentages of these major oxides and LOI (%) is approximately 100 (See Table 1 and Table 2) for all samples and so the rest of the element oxides can be neglected to count in this case. In order to evaluate the change in grindability (HGI) with respect to the chemical composition data, graphical demonstrations of the relationships were provided between Figure 7 and Figure 12 [Figure 7(a)-12(a) for Quarry-1 and Figure 7(b)-12(b) for Quarry-2].

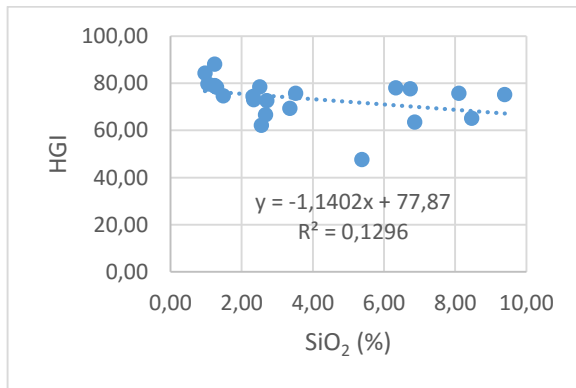


(a)

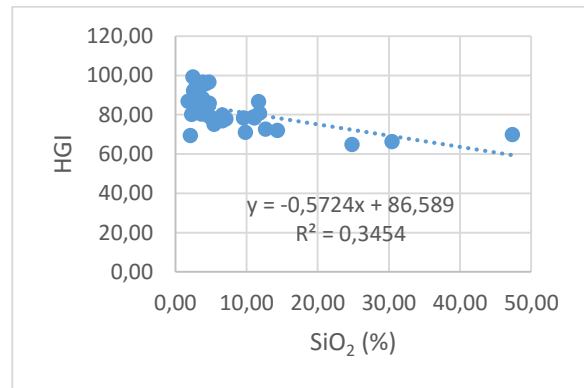


(b)

Figure 7. Relationship between HGI values and MgO (%) content of limestone samples (a) from Quarry-1, (b) from Quarry-2.

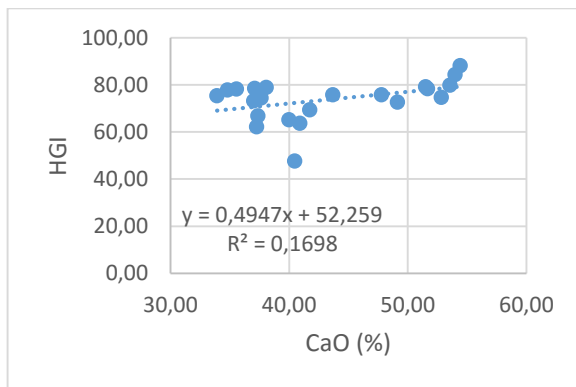


(a)

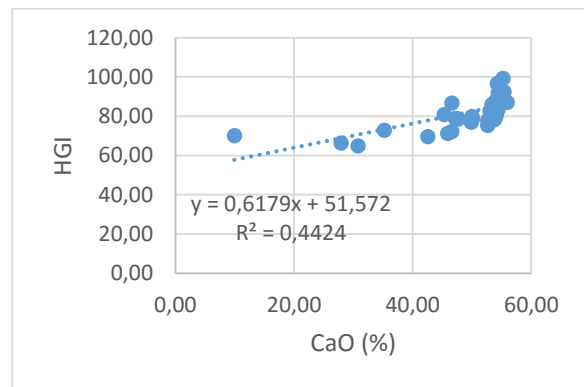


(b)

Figure 8. Relationship between HGI values and SiO₂ (%) content of limestone samples (a) from Quarry-1, (b) from Quarry-2.



(a)



(b)

Figure 9. Relationship between HGI values and CaO (%) content of limestone samples (a) from Quarry-1, (b) from Quarry-2.

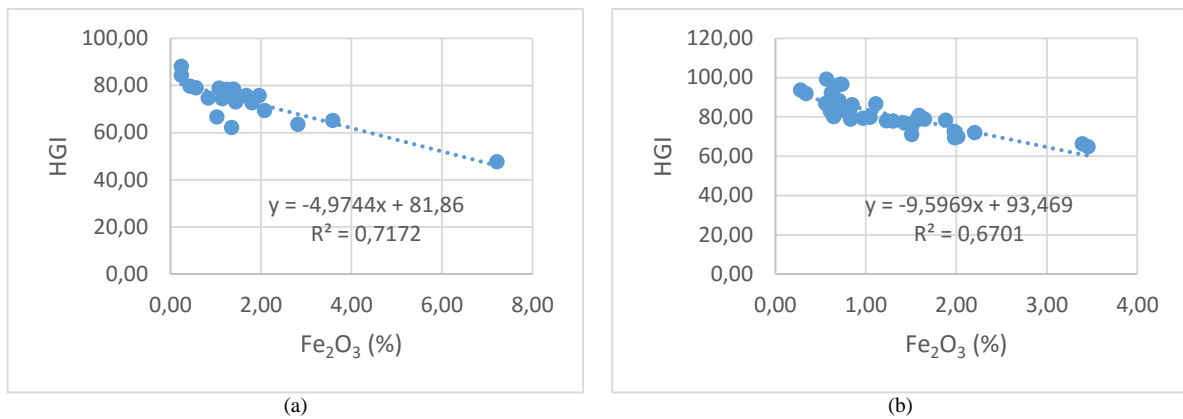


Figure 10. Relationship between HGI values and Fe_2O_3 (%) content of limestone samples (a) from Quarry-1, (b) from Quarry-2.

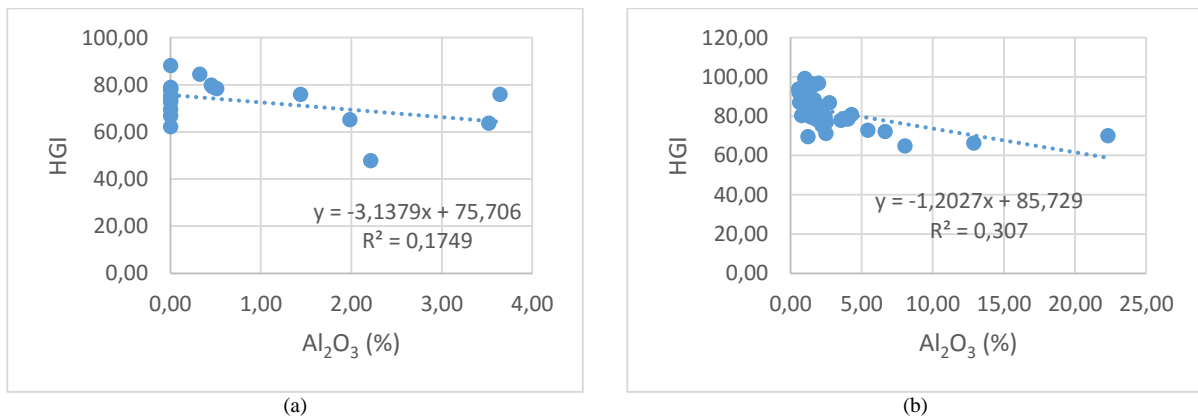


Figure 11. Relationship between HGI values and Al_2O_3 (%) content of limestone samples (a) from Quarry-1, (b) from Quarry-2.

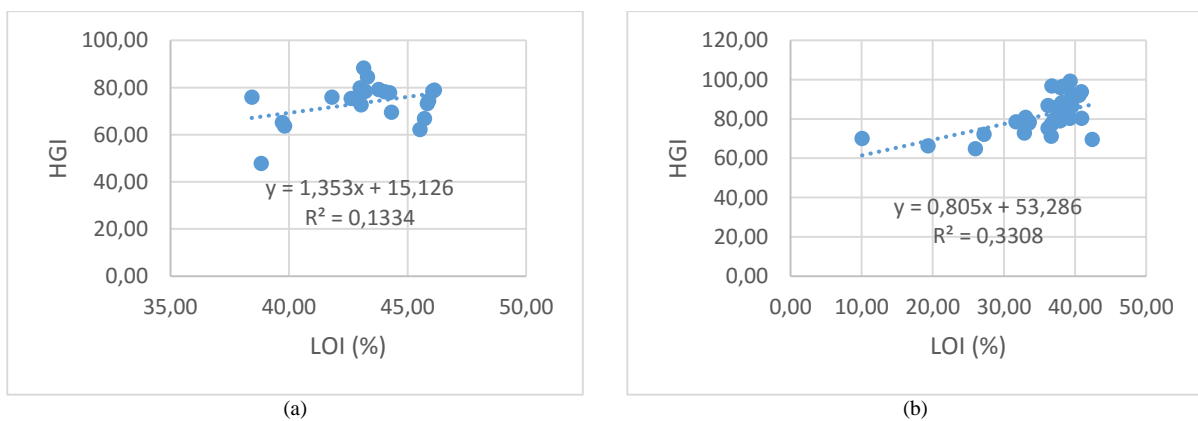


Figure 12. Relationship between HGI values and LOI (%) content of limestone samples (a) from Quarry-1, (b) from Quarry-2.

Initial evaluations of the relationships (Figure 7 - Figure 12) are as following: i. Fe_2O_3 content (%) is the most meaningful chemical composition parameter in terms of HGI for both quarries, ii. relationships obtained for the samples from Quarry-2 resulted in higher R^2 values (coefficient of determination) except Fe_2O_3 (%). In terms of these initial understandings abovementioned, one can claim the fact that any empirical equation to be proposed for the prediction of HGI should include Fe_2O_3 (%) content.

Limestone grindability is a significant issue since limestone as raw material has a wide range of utilization, mostly requires powder form. In order to improve the efficiency of grinding circuits of limestones, iron content should be taken into consideration in the beginning. Graphical demonstrations of the relationship of HGI dependency on Fe_2O_3 [Refer to Figure 10 (a) and (b)] simply includes the understanding as following: higher the

Fe_2O_3 results in lower the HGI value and so harder (more difficult) is the grinding operation and vice versa, respectively. This actually makes sense due to the fact that easier milling with any pre-treatment (microwave) would end up less wear of the mill, mill liner, and milling medium, summarized by Kumar et al. [32]. Here, in order to have higher grinding efficiency for limestone grinding, pre-treatment including magnetic separation could be employed.

In addition to the abovementioned interrelations, a new empirical equation for the prediction of HGI in terms of chemical composition data was proposed in the context of this study. In order to have less number of parameters contributing to HGI and to obtain the highest R^2 , several attempts were carried out on a statistical software, i.e. XLSTAT. In this context, “Gamma Regression” in the body of “Log-Linear Regression” of that abovementioned software was taken into consideration. The model proposed (See (2) and (3)) has only 4 parameters employing and it has the corresponding R^2 of 0.74.

$$\text{Prediction Method of HGI} = e^{(4.19+0.004xSiO_2+0.0056xCaO-0.084xFe_2O_3-0.0022xratio)} \quad (2)$$

Here, “ratio” is defined as (3):

$$ratio = \frac{Fe_2O_3 + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2} \quad (3)$$

Note that all chemical composition items, i.e. SiO_2 , CaO , MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 are in percentages. Trial error processing of linear and nonlinear regressions have only resulted as either too many number of parameters involving or less R^2 obtained at the end. So this equation presented in (2) is regarded as the best equation in terms of easier evaluation and better prediction. In this context, graphical representation of the comparison between experimentally obtained HGI values and the predicted (Eqn.2 is employed) HGI values (See Table 3 and See Figure 13).

Table 3. Predicted (Eqn.2 is employed) and experimentally obtained HGI values.

Sample	Experimentally Obtained HGI values	Predicted HGI values	Sample	Experimentally Obtained HGI values	Predicted HGI values
Q1-1	75.82	73.71	Q2-1	96.69	85.57
Q1-2	74.68	82.95	Q2-2	95.94	85.94
Q1-3	63.64	67.11	Q2-3	78.18	82.06
Q1-4	78.34	79.34	Q2-4	86.75	81.74
Q1-5	65.18	63.03	Q2-5	66.30	65.50
Q1-6	72.66	75.25	Q2-6	83.07	86.24
Q1-7	75.82	75.69	Q2-7	72.14	75.32
Q1-8	79.15	83.95	Q2-8	86.30	84.27
Q1-9	84.36	87.63	Q2-9	79.49	83.79
Q1-10	88.16	88.03	Q2-10	76.91	79.36
Q1-11	79.79	86.00	Q2-11	82.78	84.93
Q1-12	77.79	73.41	Q2-12	72.78	71.42
Q1-13	78.48	72.15	Q2-13	70.01	71.12
Q1-14	78.18	73.17	Q2-14	69.55	70.59
Q1-15	75.29	72.59	Q2-15	80.34	85.43
Q1-16	47.71	45.92	Q2-16	92.04	88.10
Q1-17	69.42	70.51	Q2-17	77.91	81.63
Q1-18	73.15	71.67	Q2-18	93.84	88.57
Q1-19	78.89	73.19	Q2-19	78.46	76.89
Q1-20	66.78	74.62	Q2-20	64.84	64.71
Q1-21	74.40	73.76	Q2-21	78.97	84.41
Q1-22	62.20	72.48	Q2-22	78.46	79.52
			Q2-23	92.33	86.18
			Q2-24	96.65	85.55
			Q2-25	88.39	85.41
			Q2-26	82.59	84.15
			Q2-27	88.13	86.27
			Q2-28	79.87	82.02
			Q2-29	99.23	86.46
			Q2-30	75.19	79.69
			Q2-31	86.97	86.59
			Q2-32	85.88	85.33
			Q2-33	78.85	78.13
			Q2-34	80.23	85.23
			Q2-35	71.17	78.14
			Q2-36	80.81	77.96

Based on the data provided in Table 3, it can be easily noticed that experimentally obtained or predicted HGI values are higher for the samples collected from Quarry 2. This abovementioned difference between each quarry can be associated with the quarry location, quarry altitude difference, heterogeneous structure of the samples, alteration differences on each quarry, proximity to underground water supply & fault zone, meteorological differences, mineralogical and crystallographic differences and effects of freezing & thawing and etc.

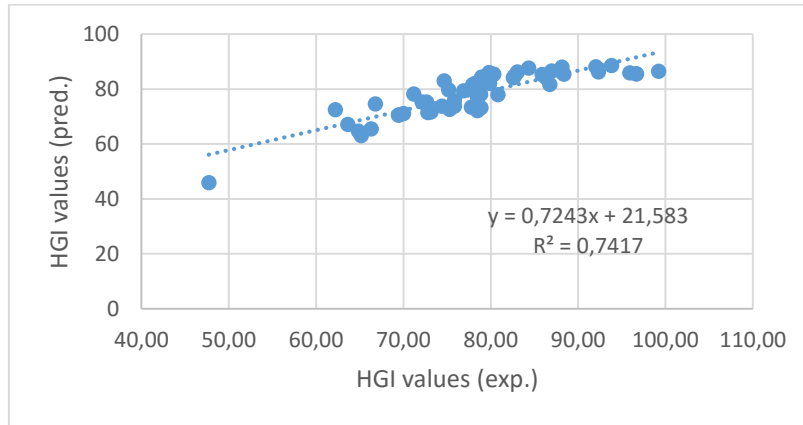


Figure 13. Relationship between HGI values (exp.) and HGI values (pred.), “exp.” stands for experimentally obtained and “pred.” stands for predicted.

Referring to Figure 13, the correlation between experimentally obtained and predicted HGI values is significant, which can be interpreted as the achievement of the model proposed. In terms of linear regression models, proposed empirical equation (2) and (3) is the most significant, which is obtained with number of iterations. Prediction of HGI based on the chemical composition data has not been considered for limestones, which means it can be improved. Still, the proposed model represents a quite significant understanding of the parameters contributions and it can be employed as a guide for the initial estimates of HGI for limestones. Accordingly, one can refer to the coefficients of the each parameter of the proposed model (Eqn.2). In this context, it can be claimed that, increase in percentage of CaO results in an increase in HGI, which means easier grindability and increase in “ratio” results in a decrease in HGI, i.e. more difficult is the grinding. The contribution by SiO₂ and Fe₂O₃ is kind of complicated in this case, since “ratio” does also depend on these parameters. Increase in Fe₂O₃ content results in an increase in “ratio” and it therefore results in a duplicated decrease in HGI, which means harder grinding operation likely to be occurring. Increase in SiO₂ content results in an increase in HGI in some limits only. In addition to this abovementioned parametric evaluation, one can easily have initial estimates of HGI based on chemical composition data of limestones by avoiding the time consuming and laboring intense downside of the HGI method itself.

IV. CONCLUSION

In this study, a total of 58 limestone samples were studied in terms of their chemical composition and grindability value (HGI). Limestone samples were collected from two different quarry, i.e. Quarry-1 and Quarry-2. Analysis results of chemical composition were interrelated to the results of HGI tests for the corresponding samples. Further evaluations were made in this context with the referrals back and forth to the graphical representations of the relations (relationships between chemical composition data and HGI values). Major oxides (%) and LOI percentages for all samples from each quarry were tabulated. Tabulated data of chemical composition of the limestone samples was restricted to major oxides (SiO₂, CaO, MgO, Fe₂O₃, Al₂O₃) since XRF analysis resulted as negligible for some oxides like Na₂O, K₂O and etc. In this context, graphical representations of the each chemical composition data (included) and the HGI values resulted with the understanding of the Fe₂O₃ percentage significance in terms of HGI. Initial evaluations are summarized as following: i. Fe₂O₃ content (%) is the most meaningful chemical composition parameter in terms of HGI for both quarries, ii. relationships obtained for the samples from Quarry-2 resulted in higher R² values (coefficient of determination) except Fe₂O₃(%). Latter in the context of this study, a new chemical grinding index (an empirical equation) was proposed to predict HGI. This model proposed includes 4 parameters (5 major oxides) and it has R² of 0.74 between HGI exp. and pred. values. The equation proposed includes a parameter stated as “ratio” which takes SiO₂, MgO, Al₂O₃ and Fe₂O₃ into account. A correct evaluation in terms of the HGI values dependency on chemical composition data is as following: “i. increase in percentage of CaO results in an increase in HGI, which means easier grindability, ii. increase in Fe₂O₃ content results in an increase in “ratio” and it therefore results in a duplicated decrease in HGI, which means harder grinding operation likely to be occurring, iii. increase in SiO₂ content results in an increase in HGI in some limits only”. By this method presented in the scope of this study, grindability index values for

limestones can be easily predicted for initial estimates without employing the time consuming and laboring intense HGI testing procedure.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors of this study would like to thank to Limestone Quarry Companies' owners and the operators for providing the samples.

REFERENCES

- [1] Šiler, P., Kolarova, I., Bednarek, J., Jana, M., Musil, P., & Opravil, T. (2018). The possibilities of analysis of limestone chemical composition. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*.
- [2] Folk, R. L. (1959). Practical petrographical classification of limestones. *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 43(1), 1–38.
- [3] Folk, R. L. (1962). Spectral subdivision of limestone types. *Amer. Ass. Petrol., Geol. Mem.*, 1, 62–84.
- [4] Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *Mem. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, 1, 108–121.
- [5] Mucsi, G., Rác Á., Mag G., Antal G., & Csóke B. (2019). Volume based closed-cycle Hardgrovegrindability method. *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, 34(4), 9-17.
- [6] Todorovic, D., Trumic, M., Andric, L., Milosevic, V., & Trumic, M. (2017). A quick method for bond work index approximate value determination. *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, 53(1), 321–332.
- [7] Bond, F.C., & Maxson, W. L. (1943). Standard grindability tests and calculations. *Trans. Soc. Min. Eng. AIME*, 153, 362–372.
- [8] ASTM D409 (1991). Standard Test Method for Grindability of Coal by the Hardgrove Machine Method.
- [9] Zeisel, H. G. (1953). Schriftenreihe der Zementindustrie. 14, *Verein Deutscher Zementwerke, Düsseldorf*, 51.
- [10] Hoşten, Ç. & Gülsün, M. (2004). Reactivity of limestones from different sources in Turkey. *Minerals Engineering*, 17(1), 97-99.
- [11] Yin, L. & Guo J. (2011). Study on Wet FGD Limestone Quality, *Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, Shangshai, 605-608.
- [12] Deniz, V. (2014). Relationships between Bond's grindability (Gbg) and breakage parameters of grinding kinetic on limestone. *Powder Technology*, 139(3), 208-213.
- [13] Altun, N.E. (2014). Assessment of marble waste utilization as an alternative sorbent to limestone for SO₂ control. *Fuel Processing Technology*, 128, 461-470.
- [14] Ozkahraman, H.T. (2005). A meaningful expression between bond work index, grindability index and friability value. *Minerals Engineering*, 18(10), 1057-1059.
- [15] Seo, J.H., Baek, C. S., Cho, J.S., Ahn, Y.J., Ahn, J.W., & Cho, K.H. (2019). Evaluation and application of grinding index of domestic desulfurization limestone. *Journal of Energy Engineering*, 28(1), 1-9.
- [16] Tichanek, F. (2008). Contribution to determination of coal grindability using Hardgrove Method. *GeoSci. Eng.*, LIV (1).
- [17] Chelgani, S. C., Hower, J. C., Jorjani, E., Mesroghli, Sh., & Bagherieh, A. H. (2008). Prediction of coal grindability based on petrography, proximate and ultimate analysis using multiple regression and artificial neural network models. *Fuel Proc. Technol.*, 89, 13–20.
- [18] Sahoo, R.K. (2006). Review: An investigation of single particle breakage tests for coal handling system of the gladstone port, *Powder Technology*, 161(2), 158-167.
- [19] Ozbayoglu, G., Ozbayoglu, A. M., & Ozbayoglu, M. E. (2008). Estimation of Hard grove grindability index of Turkish coals by neural networks. *Int. J. Miner. Proc.*, 85, 93–100.
- [20] Sengupta, A.N. (2002). An assessment of grindability index of coal, *Fuel Processing Technology*, 76(1) 1-10.

- [21] Mendis, B.S.M., Jayathunga, T.H.G.S., Madurapperuma, H.H., Rohitha, L.P.S., Dharmarathna, P.G.R., & Hemalal, P.V.A. (2017). Determination of existing relationship among grindability, chemical composition and particle size of raw material mix at Aruwakkalu Limestone.
- [22] Kural, A., & Ozsoy, C. (2004). Identification and control of the raw material bending process in cement industry. *International Journal of Adaptation Control Signal Processing*, 18(5), 427-442.
- [23] Frigione, G., Zenone, F. & Esposito, M. V. (1983). The effect of chemical composition on Portland cement clinker grindability. *Cement and Concrete Research*, 13(4), 483-492.
- [24] Ürünveren, A., Altın, M., Kuvvetli, Y., Ural, O. B., & Ural, S. (2020). Prediction of Hard grove grindability index of Afsin-Elbistan (Turkey) Low-grade Coals based on proximate analysis and ash chemical composition by neural networks. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 40(10), 701-711.
- [25] Bilen, M., Kızgut, S., Cuhadaroglu, A., Yılmaz, S., & Toroglu, İ. (2017). Coal grindability and breakage parameters. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 37(5), 279-284.
- [26] Bilen, M., Kızgut, S., Yılmaz, S., Baris, K., & Cuhadaroglu, D. (2018). Grindability of coal changing with burial depth. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 38(2), 75-87.
- [27] Yılmaz, S., & Bilen, M. (2016). Empirical Relationships of HGI in terms of proximate analysis of coal. In *XVIII International Coal Preparation Congress*, 953-957.
- [28] Cuhadaroglu, A. D., Kızgut, S., Yılmaz, S., & Zorer, Y. (2013). Characterization of the grinding behavior of binary mixtures of clinker and colemanite. *Particulate Science and Technology*, 31(6), 596-602.
- [29] Gouda, G. R. (1979). Effect of clinker composition on grindability. *Cement and Concrete Research*, 9(2), 209-218.
- [30] Gedik, İ., Duru, M., Pehlivan, Ş., & Timur, E., (2005). 1/50.000 ölçekli Türkiye Jeoloji haritaları, İstanbul-F22c Paftası, *MTA Raporu*, No:11, Ankara.
- [31] ASTM C1271-99. (2012). Standard Test Method for X-ray Spectrometric Analysis of Lime and Limestone.
- [32] Kumar, P., Sahoo, B.K., De, S., Kar, D.D., Chakraborty, S., & Meikap, B.C. (2010). Iron ore grind ability improvement by microwave pre-treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 16(5), 805-812.

Araştırma Makalesi - Research Article

Housing Price Estimation with Deep Learning: A Case Study of Sakarya Turkey

Derin Öğrenme ile Konut Fiyat Tahminlemesi: Türkiye'deki Sakarya İli Üzerinde Bir Çalışma

Murat Özdemir^{1*}, Kazım Yıldız², Büşra Büyüktanır³

Geliş / Received: 21/09/2022

Revize / Revised: 15/02/2022

Kabul / Accepted: 17/02/2022

ABSTRACT

Shelter is one of the most basic human needs. Besides housing needs, the housing market is also very important for investment. It is also a market where many people, such as engineers, architects, real estate agents make economic gain. When a house is bought for living in it, it is not desired to be changed for many years, and when it is bought for investment, it is a tool that requires good income. Therefore, the best decision should be made when buying a house, and it should be scrutinized. Correct estimation of house prices is very important for both buyers to make the right decision and for sellers to sell without a loss. There are many parameters for estimating house prices. In addition to variables such as the number of floors, location, and several bathrooms used in previous studies, economic factors (such as the price of bread, foreign currency price, new car price) and the housing loan interest rate of the banks were taken as inputs in this study. Sakarya province, where all parameters can be tested to make a more accurate determination, was chosen as the research area. A comparison of polynomial regression, random forest, and deep learning methods was made and it was concluded that the most accurate method was deep learning. At the same time, it was determined which parameters are more effective in house price estimation.

Keywords- Housing Price Prediction in Sakarya, Deep Learning, Random Forest, Polynomial Regression

ÖZ

Barınma insanların en temel ihtiyaçlarından biridir. Konut piyasası barınma ihtiyacını karşılama yanısıra yatırım için de çok önemlidir. Aynı zamanda mühendis, mimar, emlakçı vb. çok sayıda insana da ekmek kapısı olmuştur. Konut, oturluk için alındığında uzun yıllar değiştirilmek istenmeyen, yatırımlık için alındığında ise iyi kazanç elde edilmek istenen bir araçtır. Bu yüzden konut satın alınacağı zaman talebe göre doğru araştırma yapılmalı nihayetinde en doğru karar verilmelidir. Konut fiyatlarının doğru tahmin edilmesi hem alıcılar için doğru kararı verebilmek, hem de satıcılar için zarar etmeden satış yapabilmek için çok önemlidir. Konut fiyat tahmini için çok sayıda parametre vardır. Bunlardan daha önceki çalışmalarda da kullanılan kat sayısı, konum, banyo sayısı vb. değişkenlerin yanısıra bu çalışmaya özgün olarak döneme ait ekonomik etkenler (ekmek fiyatı, döviz fiyatı, sıfır araç fiyatı gibi) ve o dönemde bankaların konut kredisi faiz oranı girdi olarak alınacaktır. Daha doğru tespit yapabilmek adına tüm parametrelerin test edilebileceği Sakarya ili araştırma alanı olarak seçilmiş ve yöntem olarak polinomal regresyon, rastgele orman ve derin öğrenme yöntemleri kullanılarak bu yöntemlerin kıyaslaması

^{1*}Corresponding author contact: muraozdemir20@marun.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7225-3574>)

Computer Engineering, Institute of Science, Marmara University, Istanbul

²Contact: kazim.yildiz@marmara.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-6999-1410>)

Computer Engineering, Faculty of Technology, Marmara University, Istanbul

³Contact: busra.buyuktanir@marmara.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-2571-4029>)

Computer Engineering, Faculty of Technology, Marmara University, Istanbul

yapılarak en doğru yöntemin derin öğrenme olduğu sonucuna varılmış ve parametrelerin ev fiyatlarına etkileri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Sakarya Konut Fiyat Tahmini, Yapay Sinir Ağları, Rastgele Orman, Polinomal Regresyon*

I. INTRODUCTION

Shelter is one of the most basic needs of people, as well as a very important investment tool. The housing market has an important place in the country's economy. Buying and selling a home is not a more frequent purchase like cars or appliances. People want to find the most suitable residence for them and live here for many years. The housing market is also an important market for employment. Many people, such as construction workers, architects, engineers are employed from the construction stage to the sales stage of a house. Jobs and employment are provided to many people, such as real estate agents and plumbers, after the housing construction is completed. Buying a house is an important decision to live or invest in. For this reason, when buying a house, it should be investigated in detail and the right option should be selected. Therefore, the factors affecting housing prices should be examined in detail to offer them to the users.

Real Estate Price Indices are known as one of the important indicators showing the developments in house prices [44]. The fact that houses are both used for a long time and an investment tool causes the housing market to differ from other markets. These differences can be stated as high cost, continuity, heterogeneity, being fixed, causing growth in secondary markets, and being used as collateral [1,2].

Nowadays, people prefer to buy their own houses by taking long-term mortgage loans rather than being tenants, especially with the emergence of mortgage loans. In periods when interest rates on housing loans decrease, with the increasing demand for housing purchases, homeowners may see this as an opportunity and tend to increase housing prices [3-6]. On the other hand, factors affecting the country's economy are thought to be directly related to housing prices. Therefore, inputs such as gold price, iron price, and minimum wage on the date the house is announced are included in this study [7-9]. New vehicle prices are also a determining factor in the country's economy. So it will be entered in the price of one of Turkey's best-selling cars [10-14].

The impact of universities on urban economies is unquestionably high. A university undergraduate student who comes to a city for education contributes economically to city tradesmen for an average of 4 years. In addition to the economic contribution of a student to sectors such as transportation, food, textile, and entertainment, the most important need is for accommodation. In addition to student dormitories and apartments, most students settle in rented homes alone or with friends. The landlords may be renting out their homes for more than a normal rental price, knowing that the students do not pay the rent alone but share it. This will mean that the houses near the university have high rental income, so it is a very important investment opportunity. As a result, it is expected that houses near the university will be more attractive to buy and increase house prices. Therefore, in this study, by adding the variable of proximity to the university, it is tested whether this variable affects the housing price or not. In addition to the above-mentioned economic factors and proximity to the university, Sakarya province was chosen to test factors such as transportation, tourist places, and proximity to the sea.

There are two state universities in Sakarya, namely Sakarya University and Sakarya Applied Sciences University. The main campus of Sakarya University is in the Serdivan district and it has different faculties in other districts of Sakarya. Karasu district is an important district with a coastline. The high-speed train station is located in Arifiye district. There are train services from Arifiye to cities such as Ankara, Istanbul, and Konya. Adapazarı district is known as the central district and is accepted as the city center. At the same time, there is AdaRay station in the Adapazarı district, which also has train services to Istanbul. For this reason, sample data for this year and previous years will be selected from these districts, as it is thought that it will help to get accurate results in this study. Artificial Neural Networks (ANN), one of the machine learning methods, are used to solve the problem in many different areas [15]. Most of the studies conducted with the ANN method for estimating the house price show that ANN models perform well in estimating house prices [1]. The aim of this study is to determine the best inputs which can be used in house price estimation by comparing deep learning, polynomial regression, and random forest (RF) methods.

II. LITERATURE REVIEW

ANN have been used in estimating house prices since the early 1990s. Borst's first study in 1991 draws the attention [16]. On the other hand, Do and Grudnitski suggested that in their study with 105 inputs in 1992, the ANN model performed better than the multiple regression model in house price estimation [17]. There are many complicated criteria in housing price determination, so care should be taken when choosing and interpreting variables. Three different studies were carried out in the provinces of Aydın, Balıkesir and Giresun in 2021 on the criteria for determining housing prices [18-20]. According to these studies, it has been concluded that the criteria determining housing prices are similar. It is important to reach the resources containing the required inputs and to design the resources and inputs used correctly to achieve a highly consistent result with ANN [1].

While finding solutions to classification problems, as the number of groups and parameters in the data set increases, the models used with ANN begin to perform better than parametric models. In ANN training, three data sets are required: training set, evaluation set, and test set. However, it is not easy to obtain a sufficient sample for this, especially in accounting and financial applications. As a solution to this situation, there are Jackknife and cross-validation methods applied on small data sets. In this study, without dividing the data set into three groups, Jackknife and cross-validation methods were shown to be effective techniques [21].

In Ecer's study in 2014, housing price estimation was made using the data of 610 houses in Izmir. The estimation results of the hedonic model and the Multilayered Perceptron (MLP) model, which is one of the ANN model were compared in the estimation of housing prices. The dataset variables consist of the properties of the houses. These features are price, size, facade, age, location, floor, number of rooms, exterior features of the house such as elevator, swimming pool, interior features such as ADSL, shower cabin, type of house such as garden, duplex. According to the hedonic model, the size of the house, the presence of a shower cabin, dressing room, pantry, in-suite bathroom, walk-in closet, built-in kitchen, blinds, jacuzzi, water heater, elevator, indoor garage, and outdoor swimming pool, proximity to the primary school and the pier, the house has a sea view are the most important variables affecting the price. In the MLP model, the variables affecting the housing price are as follows: Swimming pool, being by the sea, close to the city center, having a burglar alarm, having a built-in closet, age, being close to the train station, having security on the site, being close to the sea bus, being close to the mosque, university and proximity to the health center, being on the street, having a built-in kitchen, sound insulation, insulating glass, cable TV, hydrophore, steel door, and terrace. RMSE, MAE, MAD, and Theil U performance measures were used to compare the prediction accuracies of the hedonic model and the MLP model. These four criteria are based on error values. The values close to zero indicate that the prediction performance of the model used is high. The obtained values from the MLP model are approximately 60-90% smaller than hedonic model. Furthermore, it has been concluded that the MLP model better than the hedonic model. The interest and exchange rates affect the housing price which are among the ergonomic factors, are not included in the forecast models which limits the study [22].

Limsombunchai used the ANN model in the study, taking home prices data from Christchurch, New Zealand. Building age information, building type, residence, residential area, social facilities, location parameters and garage number are used. It is stated that, the accuracy of the model is about 84% [23].

Özkan et al., took 170 house prices in the Selçuklu district of Konya as input and used ANN and regression methods to estimate the prices of houses. The size of the house, age of the building, floor, facade, base area coefficient, floor area coefficient, and location are used as parameters. An accuracy rate of 84.5% was obtained with ANN and 83% with the regression method respectively [24].

Zurada et al., tried to estimate housing prices using fuzzy logic and ANN. They chose parameters as the number of bathrooms, residential area, garage size, heating system, fireplace, construction type, and garage type. As a result, they stated that fuzzy logic and ANN methods which can be used in house price estimation if sufficient data is done and correct [25].

Yılmazel et al., conducted a study using a hedonic model with the data of 5556 houses which were bought from Eskişehir in 2018. They took the neighborhood, where it is located, the size of the house, the number of rooms, the number of bathrooms, the car park, the en-suite bathroom, the kitchen, the elevator, the distance to the tram stops, the number of floors, whether the apartment is on the 1st floor, whether there is central heating, whether there is a parent bathroom, the presence of internet values as parameters. They obtained the most accurate result with a correlation coefficient (r) of 0.9219. This gives the result 0.84989961 from $r * r$ when viewed as r squared.

In this study, they stated that artificial neural network techniques can be used as a tool for estimating house prices [1].

Sarip and Hafez analyses the performance for the estimation of house prices with non-linear models for distinct area in Malaysia. The investigation of the Fuzzy logic model performance in predicting housing prices have been searched. They argued that the obtained MAE values were acceptable with the using of three models which are fuzzy logic, ANN and FIS. To deal of estimating real estate prices, the fuzzy logic based approach is more accurate than other ones in modelling the relationship between real estate price and real estate properties [26]. Afonso and friends are collected 12,223,582 housing advertisements data from Brazilian websites from 2015 to 2018 to estimate housing prices in Brazil in 2019. They applied two different methods (Enriched RF and Recurrent Neural Networks) and finally combined them. In the combined model, the score obtained as a result of the estimation was 0.23847 Root Mean Squared Log Error (RMSLE). It was observed that two models created with RF and Recurrent Neural Networks (RNN) gave good results. They found that the Enriched RF worked well with numerical features and gave good results but were unable to process the raw image or text data. On the other hand, RNN observed that it is suitable for all kinds of data but does not process numerical features and RF. They advocated combining these two methods, as both methods have their respective strengths. Experimental results show that strengthening the dataset and combining different machine learning applications outperform for prediction of housing prices in Brazil [27].

Wang and Wu used a total of 27649 data (houses), which included the prices for single-family home evaluation of Virginia USA. They used features such as the size and year of construction that clearly define the quality of the home, but they did not have any specific variables that clearly define home comfort. Using the RF algorithm with location, age, and size of the building, they got the best result with a result of 0.701680 [28]. Tabales et al. tested the ANN approach as an alternative to hedonic modeling to estimate the selling price of an apartment. For this purpose, they used a fairly large sample of data in a medium-sized city in the south of Spain, stating that size is the most important variable, and they concluded that R^2 was 86.05% [29]. Tabar et al. conducted a valuation study for the residences in Tokat in 2021. The size of the houses, the number of rooms, the age of the building, location, floor, number of bathrooms, and the number of balconies were get as parameters. For value determination ANN and Multiple Regression were compared. ANN model accuracy is about the 96% and better than multiple regression [30].

With the big data visualization application, Erkurt and Yıldırım put forward a study on the housing sector in Turkey. Infographics were produced by determining the number of rooms + halls, age of the building, net area, address, price, and currency of the house in a data set containing 79,632 house advertisements belonging to the provinces of Istanbul, Ankara, and Izmir. With these infographics, individuals will be able to examine the advertisements in the provinces and districts they want to compare according to the criteria for choosing a house, without the need for a data set. They will have the chance to see the details of the advertisement that interests them on the visual. Infographics that update themselves with changes in data are presented as a user-friendly tool [31].

III. MATERIAL AND METHOD

From the previous studies mentioned in the literature review, it has been suggested that the ANN method is more successful than linear methods in estimating house prices and more accurate results can be obtained when more data are used. Therefore, the deep learning method with more hidden layers compared with other machine learning methods like polynomial regression and RF algorithm.

A. Dataset

As input, it was stated that positive results were obtained in previous studies [1,23-25], the size of the house (net square meters), number of rooms, €, age of the building, floor, number of floors, heating type, number of bathrooms, having a car park, having a pool, security, whether it is a duplex, whether it has a terrace, whether it has a sea view, whether it is in the city center distance to the university were taken. Besides being close to the train station, being in site, gram price of gold, kilogram price of iron, car price and most importantly, bank housing loan interest rates in that period also were taken.

To test all the criteria, the city of Sakarya, which has a seafront, train stations, and 2 universities, was selected. 166 advertisements placed in January 2021, 11 advertised in January 2020, 24 advertised in January 2018, and 12 advertised in February 2016 from Serdivan, Arifiye, Adapazarı, and Karasu districts in Sakarya were

randomly taken from various real estate advertisement sites. For evaluation of the algorithms 0.33 of the data is reserved as test and the rest as training.

B. Machine Learning Algorithms

Machine learning algorithms perform classification and clustering operations using supervised and unsupervised learning styles. Deep learning methods are used in the rapid learning and application of complex data by removing the human factor from machine learning [32]. After the development of technology and the discovery of high hardware products such as GPUs and the amount of data and resources that can be used increased, artificial neural networks started to become popular again by increasing the number of hidden layers and nodes. Thus, deep learning has emerged.

1) Deep Learning:

It is a branch of machine learning. Just as people learn from their experience, deep learning algorithms make changes in their steps to the result each time to get a better result. The algorithms used can be supervised or unsupervised. Deep learning has a nonlinear one or more-layer structure to perform feature extraction and conversion. In the deep learning network, which has a successively layered structure, a separate process is carried out on each layer, and data is left to the next layer. That is, the output of one layer becomes the input of the next layer [32]. Figure 1 shows the deep learning model in Figure 1. As seen in Table 3, by changing the numbers of hidden layers, neurons and epochs experimentally, it was observed that the most accurate result was obtained with an input layer with 21 neurons, 2 intermediate layers with 3 and 11 neurons, and 1 output layer with 350 epochs.

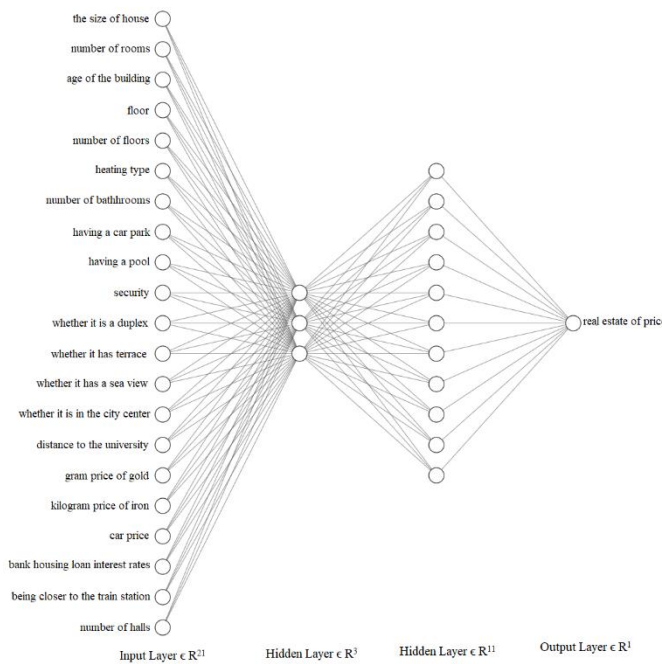


Figure 1. Deep learning model

2) Polynomial Regression:

Regression determines the relationship between variables. One of them is dependent and the other / others are independent variables. The method used to show the relationship is called Regression analysis. With the regression analysis, the results of the dependent variable are interpreted according to the movement of the independent variables. When the relationship between variables is not linear, Polynomial Regression is used as analysis method [35]. Y result value for a single prediction of X is shown in equation 1:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \dots + \beta_h X^h + \varepsilon \quad (1)$$

In equation 1, h is called the polynomial degree. The relationship between variables for low degrees of h is called as h = 2 quadratic, h = 3 cubic, etc. Equation 3 expresses both polynomial regression and linear regression.

Because there is a nonlinear relationship between X and Y variables. The coefficients of $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ are also linear [35].

3) Random Forest Algorithm:

Classification algorithms are used to predict which class of data will be included. More than one classifier is used in ensemble approaches. These classifiers are combined such as voting, average and different accuracy rates in process. With the help of this it offers better results than single classifier. One of the most widely used batch classifiers is the RF which consists of multiple decision trees. This algorithm is used for classification and regression. RF has emerged by improving techniques in Ensemble methods and adding the feature of randomness [36].

Training data set to be used for RF is allocated as N sub samples. Each sub sample is trained in a decision tree. Finally, a trained model with N decision trees is formed. All decision trees in the RF work for the classification of an incoming sample. The average of each working model result is taken and the final estimation is made and the incoming sample is classified.

The trees in the model are large and different from each other. Therefore, the correlation between trees is not high and biased results are not produced. Since the results are unbiased, the accuracy value of the model created with RF among machine learning methods is higher and the model is reliable [37].

The prediction of the kth tree for a given input x is given as shown in equation 2 [27]. K in the equation shows the number of trees. Θ_k is the random vector equivalent of each sub-samples that will be trained with the decision tree.

$$h_k(x) = h(x, \Theta_k), \forall k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (2)$$

Node S can be split into two sub-nodes in multiple ways. Assuming that a threshold c is chosen for the selected feature by dividing S by S1, S2 concerning each feature value v_i . A c can be used for a regression task that minimizes the difference in the sum of error squares (SSE) as shown in equation 3 [27].

$$SSE = \left(\sum_{i \in S1} (v_i - \frac{1}{|S1|} \sum_{i \in S1} v_i)^2 + \sum_{i \in S2} (v_i - \frac{1}{|S2|} \sum_{i \in S2} v_i)^2 \right) \quad (3)$$

The final estimate to be made with the random forest is found by taking the average of the estimation result of all decision trees as shown in equation 4 [27].

$$h(x) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K h_k(x) \quad (4)$$

C. Activation Functions

In the activation function, the neural network cell obtains transaction output results on inputs. It is important to choose this activation function correctly. Because it will affect the result and result performance. The function can be a single and double pole [33]. There are various activation functions such as Sigmoid, Rectified Linear Unit (RELU), Step function.

1) Sigmoid Function:

The dynamic range of change of the sigmoid activation function is the range [0 1], and the function exhibits a nonlinear change in this range [34]. Equation 1 shows the input-output expression of the sigmoid function, where n is a real number between $-\infty$ and $+\infty$ and e is the Euler number, and the change of the function concerning the input is shown in equation 5.

$$A(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (5)$$

2) Rectified Linear Unit (RELU) Function:

It is a non-linear function. RELU function takes the value 0 for negative k inputs, k value for positive k inputs. RELU formula for k positive values is as shown in equation 6.

$$R(k) = \max(0, k) \quad (6)$$

D. Variable Selection Methods for Machine Learning Models

1) Least Squares Method (LSA):

The LSA is a standard regression method used to write down the relationship between two dependently varying physical quantities as an equation that is as realistic as possible. Furthermore, this method serves to find a function curve that will pass as close as possible to the measured data points. Linear least squares is estimating unknown parameters in a linear regression model which aims to minimize the sum of the squares of the variables among the observed responses. It is compared with data predicted by a linear function of a set of explanatory variables. It is viewed as the sum of the squared vertical distances between the corresponding point on the regression line and each data point in the set. If the differences are small, the model should fit the data better [38].

2) P-Value (Probability Value):

P-value is the probability that the relationship or difference between variables used in a sample has arisen accidentally, although there is no relationship or difference in reality [39].

Taking a value between 0 and 1 and a P-value of 0 means that the relationship between the variables is the strongest, and a 1 means the weakest.

E. Performance Measurement Metrics for Machine Learning Models

1) Correlation Coefficient (R^2 Value):

The R^2 value is a measure that represents predictive performance. Explains the percentage volume of cases where the independent variable affects the dependent variable, the capacity of the relationship between the independent and dependent variable is shown in the range of 0-100%. It can be said that as the R^2 value approaches 100%, the relationship is very strong and the accuracy of the predictions to be made through the model will also show a good performance. The low values of the metrics indicate that the standard deviation is high [40]. Correlation Coefficient as shown in equation 7. R is a correlation coefficient, n shows the number in the given dataset, y is a first variable in context and y' second variable.

$$R^2 = \left(\frac{n \sum y \cdot y' - (\sum y)(\sum y')}{\sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2} \sqrt{n(\sum y'^2) - (\sum y')^2}} \right)^2 \quad (7)$$

2) Mean Squared Error (MSE):

The MSE represents how close the regression curve is to a set of points. By using it as estimator which measures the performance of the machine learning model. The value of it, always positive then it can be said that estimators with MSE value close to zero perform better [43] which can be obtained in equation 8. x is the property the model uses to make the prediction and prediction(x) meaning is the predicted value based on the x. y represents the actual value and N is the number of samples. In case of [42]:

$$MSE = \frac{1}{N} * \sum_{x,y \in D} y - (prediction(x))^2 \quad (8)$$

3) Root Mean Squared Error (RMSE):

The magnitude of error of a machine learning model is measured by it which is a quadratic metric. It is often used to find the distance between the predicted values of the estimator and the true values. It shows how much the data is around the line. It takes values between 0 to ∞ . At the lower values estimators perform better. When the RMSE value equals to zero which means that the model made no errors [41]. RMSE values is calculated as equation 9.

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (9)$$

IV. RESULTS AND DISCUSSIONS

Records are obtained from various house advertisements from Serdivan, Adapazarı, Arifiye and Karasu districts of Sakarya province in February 2016, January 2018, January 2020, and January 2021, consist of 213 advertisements as in Table 1, and the most expensive house is 520,000 TL, the cheapest house is 90.000 TL and an average price of houses is 262.000 TL.

Table 1. House prices in the dataset

Number of Residences	Maximum Price (TL)	Minimum Price (TL)	AveragePrice (TL)
213	520.000	90.000	262.000

To estimate the prices of the houses in the data set, the inputs mentioned in the dataset used section were given to the system by using Deep learning, Polynomial Regression, and Random Forest algorithms through the python programming language, and outputs were obtained. For deep learning, firstly the inputs were scaled with the Min Max Normalization method and converted to 0-1 interval like in equation 10.

$$h(x) = \frac{xi - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (10)$$

It was first determined that the number of living rooms criteria were the same in all inputs thus, this feature was chosen as the first variable to be excluded in the estimations. As the inputs were removed in order, p values were obtained. The backward elimination method and the stats model library in the python programming language were used to calculate the p values [41]. This library firstly takes all the independent variables as input, then estimates the dependent variable with the Ordinary Least Squares method and tests all the inputs and gives the p values of the effects of the inputs on the result. In this study, first of all, all the inputs were given as independent variables and the price variable as the dependent variable, and the first p values were calculated. Then, the variable with the highest p value (Being in the site = 0.906) was removed from the inputs with the backward elimination method and new p values were calculated again. The same iteration was repeated 7 times and the p values were determined as shown in Table 2.

Table 2. Obtained P-Values

Variable	P Value
Being in the Site	0,906
Number of Bathrooms	0,880
Security	0,927
Railway Station	0,819
Iron Price (kg)	0,730
Interest Rate	0,570
Having a Pool	0,576

In order to make predictions with deep learning, the variables were extracted one by one with the python Keras library, and the number of layers and epochs were changed experimentally. The obtained results were compared as in Table 3. RELU function is used in the input and hidden layers, and the sigmoid function is used as the activation function in the output layer.

Table 3. Deep learning prediction results

Subtracted Variables	Number of Input Layer Neurons	Number of Hidden Layer Neurons	Number of Hidden Layer Neurons	Number of Output Layer Neurons	Number of Epoch	R Square
None	23	3	12	1	240	0.7738
None	23	3	12	1	300	0.8460
None	23	3	12	1	350	0.8093
None	23	3	12	1	375	0.7975
Number of living rooms	22	3	12	1	300	0.8383
Number of living rooms	22	3	12	1	240	0.7622
Number of living rooms	22	3	11	1	300	0.7953
Number of living rooms, In Site	21	3	11	1	300	0.8348
Number of living rooms, In Site	21	3	11	1	354	0.8428
Number of living rooms, In Site	21	3	11	1	350	0.8614
Number of living rooms, In Site	21	3	11	1	400	0.8060
Number of living rooms, In Site	21	2	11	1	350	0.8540
Number of living rooms, In Site	21	1	11	1	350	0.8498
Number of living rooms, In Site	21	4	11	1	350	0.8244
Number of living rooms, inside the site, number of bathrooms	20	3	11	1	300	0.8390
Number of living rooms, inside the site, number of bathrooms	20	3	11	1	350	0.8219
Number of living rooms, inside the site, number of bathrooms, security	19	3	10	1	350	0.8119
Number of living rooms, inside the site, number of bathrooms, security, proximity to the train station, iron price	17	3	9	1	350	0.8314

The best result with deep learning was obtained by choosing 0.8614 r square, 0.01199 MSE and 0.10948 RMSE and the number of living rooms and the in-site variable, the number of input layer neurons was 21, the number of hidden layers was 3, the number of interlayer neurons was 11, and the number of output layer neurons was selected with 350 epochs. The best results obtained with the predictions made with Polynomial Regression and Random Forest, which are other machine learning techniques, are shown in Table 4.

Table 4. Polynomial regression and random forest prediction results

Method Used	Subtracted Variables	R Square	MSE	RMSE
Polynomial Regression	Number of halls, being in the site, number of bathrooms, security, proximity to the train station, iron price(kg)	0.7651	0.01263	0.11240
Random Forest	Number of living rooms, being in the site, number of bathrooms, security	0.7719	0.01258	0.11214
The Deep Learning Model, which we obtained the best results in this study,	Number of living rooms, In Site	0.8614	0.01199	0.10948

The best result from polynomial regression and RF methods was obtained when the variables of number of halls, in-site, number of bathrooms, and safety were removed with 0.7719 r square. However, this result was not more successful than the deep learning method, which gave the best result with 0.8614. The required results corresponding to the entries are shown as lines, and the estimates are shown as dots in the in Figure 2, 3 and 4 respectively.

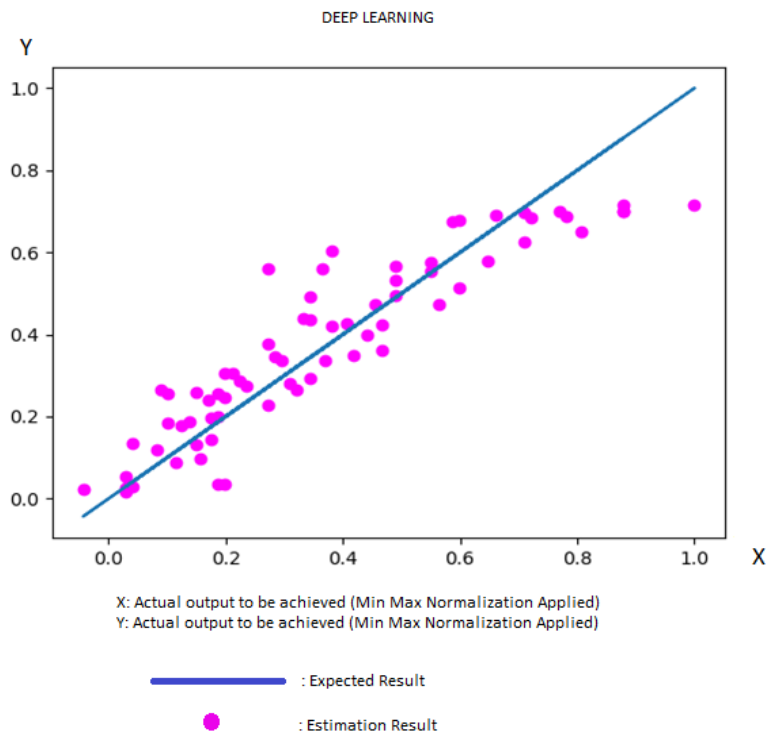


Figure 2. Prediction results with deep learning

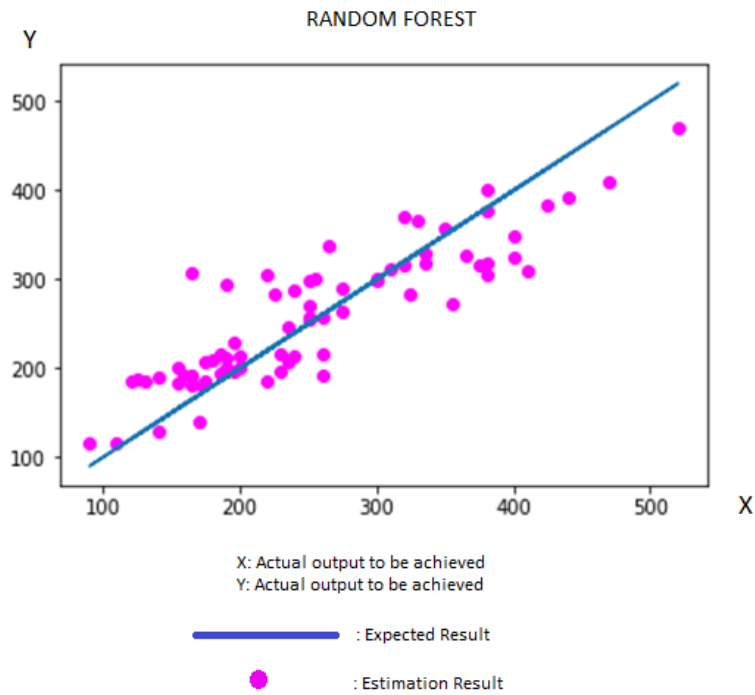


Figure 3. Prediction results with random forest

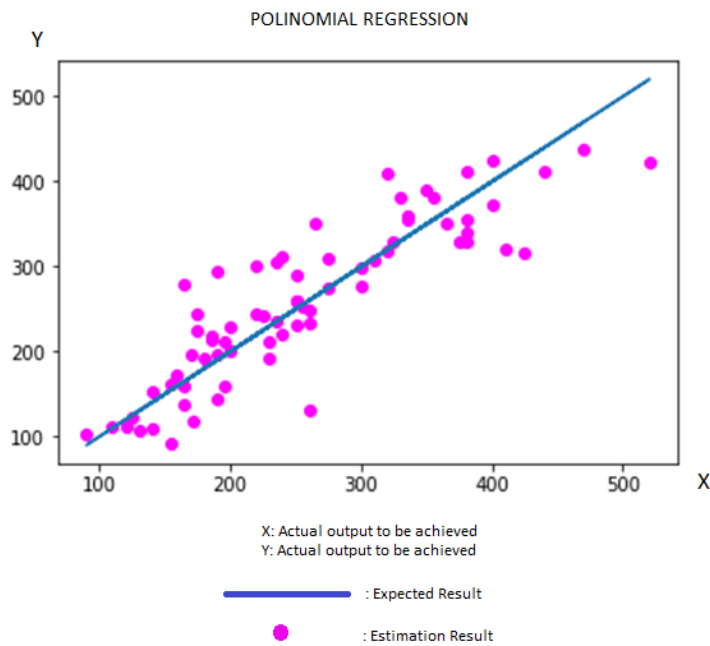


Figure 4. Prediction results with polynomial regression

Furthermore, it was taken that the most successful algorithm among deep learning, polynomial regression, and random forest algorithms in house price estimation is the deep learning algorithm with 86.14% as seen in Table 5.

Table 5. Comparison with other studies

Work	Year	Method	Success
Limsombunchai [23]	2004	ANN	%84
Özkan et al. [24]	2007	ANN	%84,5
Yılmazel et al. [1]	2017	ANN	%84,99
Afonso et al. [27]	2019	Enriched RF and KISS	0.23847 RMSLE
Wang and Wu [28]	2018	Random Forest	%70,17
Proposed Method	2021	Deep Learning	%86,14

V. CONCLUSION

The size of the house, the number of rooms, the age of the building, the number of floors, the type of heating, the number of bathrooms, parking, pool, security, duplex, terrace, sea view and city center, proximity to the university determine the housing prices. Also, it was understood that gram gold price, price per kg of iron, new vehicle price, and bank housing loan interest rates were the economic factors of the period. In this study, the number of halls criterion is ineffective since all residences have a single hall. Also, it was understood that being on the site did not affect the price of the house, and it was understood that the features such as pool, parking lot, and security on the site were more effective in price estimation.

The best second value obtained with RF algorithm with 77.19% as seen in Table 4. The number of halls and the presence in the site, as well as the number of bathrooms and the presence of security in the site parameters gave the best result.

It was seen that economic factors, such as gram gold price, iron kg price, new vehicle price, bank housing loan interest rates have affected the house price, and since there are long day differences between the dates selected together, their effect on housing prices may be more apparent. Therefore, to determine these factors more accurately, it can be suggested to test the effect of the gram gold price on the house prices when the price of gold rose and fell in the same short period. At the same time, increasing the number of data as the factor to be recommended for testing can be offered for accurate result detection.

REFERENCES

- [1] Yılmazel, Ö., Afşar, A., & Yılmazel, S. (2018). Konut fiyat tahmininde yapay sinir ağları yönteminin kullanılması. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 20, 285-300.
- [2] Lacoviello, M. (2000). House prices and the macroeconomy in Europe: results from a structural VAR analysis”, ECB Working paper.
- [3] Para ve Borsa. (2018). *Konut Kredisi Faiz Oranları*, <https://www.paraborsa.net/i/ocak-2018-konut-kredisi-faiz-oranlari/>, (17.02.2021).
- [4] Mynet (2021). *Bankaların kredi faiz oranları, Ziraat, Vakıfbank, Akbank, TEB, İş ve Halkbank ihtiyaç, taşıt ve konut kredisi faiz oranları*, <https://finans.mynet.com/haber/detay/ekonomi/bankalarin-kredi-faiz-oranlari-27-ocak-2021-ziraat-vakifbank-akbank-teb-is-ve-halkbank-ihtiyac-tasit-ve-konut-kredisi-faiz-oranlari/413494/>, (17.02.2021).
- [5] Emlak Kulisi, (2021). *Konut kredisi faiz oranlarında üç bankada yükseliş*, <https://emlakkulisi.com/konut-kredisi-faiz-oranlarinda-uc-bankada-yukselis/450201/>, (17.02.2021).
- [6] Takvim, (2020). *Ziraat Bankası konut, ihtiyaç ve taşıt kredisi faiz oranları*. <https://www.takvim.com.tr/ekonomi/2020/01/30/049-ve-079-ziraat-bankasi-kredi-faiz-oranlari-firsati-31-ocak-2020-konut-ihtiyac-ve-tasit-kredisi-faiz-oranlari>, (17.02.2021).
- [7] Bigpara, (2021). *Altın*. <https://bigpara.hurriyet.com.tr/altin/>, (17.02.2021).
- [8] Demir Fiyatları, (2021). *Demir Fiyatları*, <https://www.demirfiyatları.com/>, (17.02.2021).

- [9] iKMagazin, (2021). *Yıllara Göre Asgari Ücretler Tablosu*, <https://ikmagazin.com/insan-kaynaklari/yillara-gore-asgari-ucrerler-tablosu/>, (17.02.2021).
- [10] NTV, *2020'nin en çok satan araba modelleri (Hangi otomobil markası kaç adet sattı?)*, [https://www.ntv.com.tr/galeri/otomobil/2020nin-en-cok-satan-araba-modelleri-hangi-otomobil-markasi-kac-adet-satti,72hIZ6U6fEaQLr4okdn6KA/FGCOLEZgVU61F4aaL4LV9g_\(06.02.2021\)](https://www.ntv.com.tr/galeri/otomobil/2020nin-en-cok-satan-araba-modelleri-hangi-otomobil-markasi-kac-adet-satti,72hIZ6U6fEaQLr4okdn6KA/FGCOLEZgVU61F4aaL4LV9g_(06.02.2021)).
- [11] Yeni Model Arabalar, *Fiat Ocak Kampanyası, Fiyat Listesi - Ocak 2020-01-06*, <https://www.yenimodelarabalar.com/ fiat-ocak-kampanyasi- fiyat-listesi-ocak-2020-01-06-39045.html>, (17.02.2021).
- [12] Otopark, *Fiat Şubat 2016 Fiyat Listesi*, <https://otopark.com/2016/02/08/fiat-subat-2016- fiyat-listesi/>, (17.02.2021).
- [13] Yeni Model Arabalar, *2021 Fiat Egea Fiyat Listesi – Özellikleri - Ocak 2021-01-04*, <https://www.yenimodelarabalar.com/2021- fiat- egea- fiyat-listesi-ozellikleri-ocak-2021-01-04-41595.html>, (17.02.2021).
- [14] Otomobilblog.com, (2018). *2018 Ocak Ayı Fiat Otomobil Fiyat Listesi*, https://www.otomobilblog.com/makale/2018-ocak-ayi- fiat-otomobil- fiyat-listesi_852, (17.02.2021).
- [15] Çavuşlu, M. A. (2021). Plaka Bölgesi Tespiti Problemi için Yapay Arı Koloni Algoritması ile YSA Eğitiminin APKD'de Gerçeklenmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 446-457.
- [16] Borst, R.A. (1991). Artificial neural networks: the next modelling/calibration technology for the assessment community. *Property Tax Journal*, 10.1, 69-94.
- [17] Do, A.Q. & Grudnitski, G. (1992). A neural network approach to residential property appraisal. *The Real Estate Appraiser*, 58.3, 38-45.
- [18] Aydoğdu, N. (2021). *Bulanık regresyon analizi ile Aydın ili konut fiyatlarını etkileyen değişkenlerin belirlenmesi*, Master's thesis, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [19] Yıldırım, H. H. (2021). Balıkesir İlinde Konut Fiyatlarındaki Farklılıkları Oluşturan Unsurların Tespiti. *Uluslararası Finansal Ekonomi ve Bankacılık Uygulamaları Dergisi*, 2(1), 38-62.
- [20] Yeşil, P., & Güzel, M. (2021). Giresun kent merkezi'nde konut fiyatlarına etkiden yapısal ve çevresel etkenlerin belirlenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 10(2), 305-316.
- [21] Coakley, J.R. & Brown, C.E. (2000). Artificial neural networks in accounting and finance: Modeling issues. *Intelligent Systems in Accounting, Finance & Management*, 9(2), 119-144.
- [22] Ecer, F. (2014). Türkiye'deki konut fiyatlarının tahmininde hedonic regresyon yöntemi ile yapay sinir ağlarının karşılaştırılması. *In International Conference On Eurasian Economies*, 1-3 July 2014 , Skopje, 1-10.
- [23] Limsombunchai, V. (2004). House price prediction: hedonic price model vs. artificial neural network. *New Zealand agricultural and resource economics society conference*, 25-26 June 2004, Blenheim, 25-26.
- [24] Özkan, G. Yalpir, Ş. & Uygunol, O. (2007). An investigation on the price estimation of residable real-estates by using artificial neural network and regression methods. *12th Applied Stochastic Models and Data Analysis International conference (ASMDA)*, 29May-1 Junr2007 ,Chania, Crete, Greece,1-8.
- [25] Zurada, J. M. Levitan, A.S. & Guan, J. (2006). Non-conventional approaches to property value assessment. *Journal of Applied Business Research (JABR)*, 22(3).
- [26] Sarıp, A. G. & Hafez, M.B. (2015). Fuzzy logic application for house price prediction. *International Journal of Property Sciences (E-ISSN: 2229-8568)*, 5.1.
- [27] Afonso, B. K. Luckeciano, C. M. Willian, D. Samuel, S. & Berton, B. (2019). Housing Prices Prediction with a Deep Learning and Random Forest Ensemble. *Anais do XVI Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional. SBC*, 389-400.
- [28] Wang, C. & Wu H. (2018). A new machine learning approach to house price estimation. *New Trends in Mathematical Sciences*, 6(4), 165-171.
- [29] Tabales, J.M.N., Caridad, J.M., & Carmona, F. J. R. (2013). Artificial neural networks for predicting real estate price, *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 15, 29-44.

- [30] Tabar, M.E., Başara, A. C., & Şişman, Y. (2021). Çoklu Regresyon ve Yapay Sinir Ağları ile Tokat İlinde Konut Değerleme Çalışması. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 3(1), 1-7.
- [31] Erkurt, E. & Yıldırım, E. (2021). Bir büyük veri görselleştirme uygulaması olarak konut tercih info grafikleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(1), 36-52.
- [32] Şeker A., Diri, B. & Balık, H.H. (2017). Derin öğrenme yöntemleri ve uygulamaları hakkında bir inceleme. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 3.3, 47-64.
- [33] Öztürk, K. & Şahin, M.E. (2018). Yapay sinir ağları ve yapay zekâ'ya genel bir bakış. *Takvim-I Vekayi*, 6(2), 25-36.
- [34] Altun, H., Eminoğlu, U., & Tezekici, B.S. (2014). *MLP Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Sürecinin Aktivasyon Fonksiyonu ve İstatistiksel Değişim Gösteren Giriş Verilerine Bağımlılığı*. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Niğde Üniversitesi, https://www.emo.org.tr/ekler/490c742cd8318b8_ek.pdf. (20.09.2021).
- [35] Veri Bilimcisi, *Polinomsal Regresyon*. <https://veribilimcisi.com/2017/07/18/polinomsal-regresyon-polynomial-regression/>. (06.02.2021).
- [36] Akar, Ö., & Güngör, O. (2012). Rastgele orman algoritması kullanılarak çok bantlı görüntülerin sınıflandırılması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 1(2), 139-146.
- [37] Yılmaz, H. (2014). *Random Forests yönteminde kayıp veri probleminin incelenmesi ve sağlık alanında bir Uygulama*. Master's Thesis, Osmangazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [38] Veri Bilimcisi, *Polinomsal Regresyon*. <https://veribilimcisi.com/2017/07/13/siradan-en-kucuk-kareler-yontemi/>. (13.06.2021).
- [39] Biistatistik, *P Değeri*. <https://biistatistik.com/p-degeri-caninizi-sikmasin/>. (02.02.2021).
- [40] TR Education, *r squared formula*. <https://tr.education-kit.net/7582646-r-squared-formula>. (14.06.2021).
- [41] Veri Bilimcisi, *RMSE-MAE-MAPE Metrikleri*, <https://veribilimcisi.com/2017/07/14/mse-rmse-mae-mape-metrikleri-nedir/>. (14.06.2021).
- [42] Medium, *Model Performans Metrikleri*. <https://medium.com/deep-learning-turkiye/model-performans%C4%B1n%C4%B1-de%C4%9Ferlendirmek-metrikler-cb6568705b1>. (14.06.2021).
- [43] Statsmodel library, *Statsmodel Library*. <https://www.statsmodels.org/stable/index.html>. (13.06.2021).
- [44] Savuran, O. İ. (2008). *Gayrimenkul fiyat endeksleri ve İstanbul Etiler bölgesinde konutlar için hedonic fiyat endeksi uygulaması*. Master's Thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Araştırma Makalesi - Research Article

1H, 1'H-3,3'-Biindazol Maddesinin Ratlarda Bazı Biyokimyasal Parametrelere Etkisinin Araştırılması

Investigation of the Effect of 1H, 1'H-3,3'-Biindazole on Some Biochemical Parameters in Rats

Ebru Çöteli^{1*}, Fikret Karataş², Haki Kara³, Süleyman Servi⁴

Geliş / Received: 22/09/2021

Revize / Revised: 18/01/2022

Kabul / Accepted: 19/01/2022

ÖZ

İndazoller kimya ve farmakoloji'de önemli bileşiklerdir. Bu çalışmada, ratlara belirli sürelerde enjekte edilen 1H,1'H-3,3'-biindazol maddesinin, ratların kan serumu, karaciğer ve böbrekteki antioksidan vitaminler (A, E, C), Se, MDA miktarları ile GSH-Px enzim aktiviteleri üzerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Serum, karaciğer ve böbrek numunelerindeki selenyum miktarları florimetrik metotla, A, E, C ve MDA seviyeleri ise yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ile belirlenmiştir. Eritrositlerin GSH-Px enzim aktivite miktarları spektrofotometrik metotla ölçülmüştür. Deneysel sonuçlarımız, A, E, C vitaminleri ve Se düzeylerinin genel olarak kontrol grubuna göre daha düşük olduğu, 3. enjeksiyon periyodunda GSH-Px enzim aktivite miktarının maksimum arttığı ve diğer enjeksiyon periyodlarındaki aktivitelerin kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. 1H,1'H-3,3'-biindazolmaddesi uygulamasından sonra ratların A, E, C vitaminleri ve Se düzeyleri azalırken, MDA seviyeleri ve GSH-Px enzim aktivite miktarlarının arttığı tespit edilmiştir. Pek çok hastalığın tedavisinde kullanılan bu tıbbi maddelerin hayati önem taşıdığı ancak metabolizmada oksidatif strese yol açtığı belirlenmiştir. Bu maddeleri içeren ilaçların kullanımlarında antioksidan vitaminlerin ve selenyum desteğinin faydalı olabileceği kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler- *Biindazol, Antioksidan Vitaminler, MDA, GSH-Px, Se*

ABSTRACT

Indazoles are important compounds for chemistry and pharmacology. This study aimed to investigate the amount of antioxidant vitamins (A, E, C), Se, MDA and GSH-Px enzyme activities in the blood serum liver and kidneys of rats the 1H,1'H-3,3'-biindazole injected into rats for certain periods. Amounts of selenium in serum, liver and kidney samples were determined by fluorimetric method, A, E, C, and MDA levels were determined by high performance liquid chromatography (HPLC). GSH-Px enzyme activity amounts of erythrocytes were measured by spectrophotometric method. In our experimental results, it was observed that the levels of vitamins A, E, C, and Se were generally lower than the control group, maximum increase in the amount of GSH-Px enzyme activity in the 3rd injection period and the activities in the other injection periods were higher than the control group. It was determined that levels of decreased vitamin A, E, C, and Se while increased of levels MDA and GSH-Px enzyme

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: e.coteli@ahievran.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9473-0914>)

Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, Türkiye

²İletişim: fkartas@firat.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-0884-027X>)

Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

³İletişim: hakikara@cumhuriyet.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-0295-0582>)

Klinik Öncesi Bilimler Bölümü, Veteriner Fakültesi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye

⁴İletişim: sservi@firat.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-0827-8624>)

Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

activity. It has been determined that these medicinal substances used in the treatment of many diseases are vital; however, it causes oxidative stress in metabolism. It has been concluded that it may be useful beneficial of supplements antioxidant vitamins and selenium in the use of drugs containing these substances.

Keywords- *Biindazole, Antioxidant Vitamins, MDA, GSH-Px, Se*

I. GİRİŞ

İndazoller, heterosiklik aromatik organik bileşiklerdir. İndazoller doğaları gereği nadir olup, türevleri çok çeşitli biyolojik aktivite sergilerler [1]. Özellikle son yıllardaki çalışmalar, indazol iskeletini oluşturmak için çeşitli sentetik yöntemlerin denenmesi ve indazol türevlerinin geniş biyoaktivitelerinin araştırılması üzerine yoğunlaşmıştır [2,3]. İndazol ve türevlerinin halka sistemleri, çok sayıda ilaç molekülünün oluşumuna katkı sağladığı için farmakolojik olarak önemli bileşiklerdir. Bu ilaç molekülleri granisetron, 5HT₃' ün reseptör antagonistidir ve antiemetik [4], analjezik, antipiretik, antiinflamatuvar, antikanser, antiviral, antibakteriyel, antispermatojenik aktivite gösterdikleri bildirilmiştir [5-7]. Ayrıca indazol ve türevlerinin antifungal [8], antidepresan ve anestetik [5], antidiyabetik, antiproliferatif, antipsikotik, antitüberküloz aktivite sergilemektedirler [6]. Glukagon reseptörü [9] ve trombin reseptörü [10] antagonizması olan indazol ve indazol bazlı bileşikler rapor edilmiştir. Ayrıca 7-Nitroindazol (7-NI) güçlü bir hidroksil radikali (OH[•]) temizleyicisi olduğu bildirilmiştir [11]. Özellikle indazol ve indazol analogları kanser tedavisinde hayati önem taşırlar [12,13].

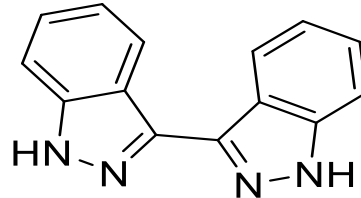
Bu çalışmada, ratlara belirli sürelerde verilen 1H,1'H-3,3'-biindazolmaddesinin, ratların kan serumu, karaciğer ve böbrekteki antioksidan vitaminler (A, E ve C), Se, MDA miktarları ile GSH-Px enzim aktivitelerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Materyal

Bu çalışmanın Etik Kurul Belgesi Cumhuriyet Üniversitesi Hayvan Deneyle Yeri Etik Kurulunda alınmıştır. Ayrıca çalışma protokolü kurumsal etik kurul onayı (2016, sayı 65202830- 050. 04.04. 2011) ile birlikte çalışma öncesinde yazılı onayı alınan gönüllülerde gerçekleştirilmiştir. Uygulanan prosedürler "Laboratuvar Hayvanlarının Bakım ve Kullanım Klavuzunda" belirtilen standartlara uygun olarak yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan 1H,1'H-3,3'-biindazol maddesi literatüre göre sentezlenmiştir [14]. Toplam 36 erkek Wistar sıçan (14-16 hafta, 200-220 g) kullanılmıştır. Hayvanların iki hafta boyunca sıcaklık kontrollü bir odada (22- 25 °C), paslanmaz çelik kafeslerde 12:12 saatlik aydınlık/karanlık döngüsüyle tutulup ortama uyumları sağlanmıştır. Sıçanlara pelet diyeti ve istedikleri kadar musluk suyu verilmiştir. Hayvanlar kontrol grubu (n:18 adet) ve deney grubu (n:18 adet) olmak üzere iki gruba ayrılmıştır.

Kontrol grubuna mısır yağında çözülmüş % 10 DMSO çözeltisinden 250 µL deri altına enjekte edilmiştir. Deney grubunda ise; her gün aynı saatte olmak şartıyla %10 DMSO' da çözülmüş 20 mg kg⁻¹ 250 µL 1H,1'H-3,3'-biindazol maddesi verilmiştir. Enjeksiyonlara 30 gün boyunca devam edilmiştir. Tüm hayvanlara deney süresi boyunca normal bir diyet uygulanmıştır. 3., 7. ve 15. enjeksiyonlardan sonra her gruptan 6 sıçan aşırı dozda eter ile öldürülmüştür. Hayvanların kan, karaciğer ve böbrek örnekleri toplanılarak analizleri yapılabilmek için -20 °C'de saklanmıştır.



Şekil 1. 1H,1'H-3,3'-biindazol

B. Yöntem

1) Serum, Karaciğer ve Böbrek Örneklerinin A ve E Vitamin Miktarlarının Belirlenmesi: Serum, karaciğer ve böbrek örneklerinden (1.0 mL veya 1.0 g) alınarak üzerine 2.0 mL etanol: sülfürik asit (99:1) karışımından ilave edilerek. proteinlerin çöktürülmesi sağlanmıştır. Numuneler vorteks ile iyice karıştırıldıktan sonra 4500 devirde 5

dakika santrifüjlenmiştir. Santrifüjlenen örnekler üzerine 0.3 mL n-hekzan ilave edilerek tekrar santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonunda hekzan fazı dikkatli bir şekilde ayrılarak cam tüpe alınmıştır. Örnek üzerine tekrar 0.3 mL n-hekzan ilave edilerek karıştırılıp santrifüjlenmiştir. Numunelerin n-hekzan fazları birleştirilmiştir. Örneklerin ekstrakte edilen hekzan fazları azot gazı ile dikkatlice ortamdan uzaklaştırılmış ve tüpteki kalan kalıntı 0.10 mL metanol’ de çözülmüştür. Bu çözeltiden 20 µL alınıp HPLC’ ye enjekte edilmiştir. HPLC’ de mobil faz olarak metanol: su (98:2) karışımı ve SUPELCOSIL LC-18 (25 cm x 4.6 mm, 5µm) kolonu kullanılarak 326 nm’ de A vitamini ve 296 nm’ de ise E vitamini miktarları belirlenmiştir [15,16].

2) *Serum, Karaciğer ve Böbrek Örneklerinin C Vitamini ve MDA Miktarlarının Belirlenmesi:* C vitamini miktarlarının belirlenmesi için; serum, karaciğer ve böbrek örneklerinden (1.0 mL veya 1.0 g) alınarak üzerine 0.5 M HClO₄’ den 0.5 mL ilave edilerek vortekslenmiştir. Vortekslenen bu karışım 4500 devir/dk’ da 5 dk santrifüjlenerek proteinlerin çöktürülmesi sağlanmıştır. Santrifüjlenen örneğin üzerindeki berrak kısımdan dikkatlice 20 µL alınarak HPLC’ye enjekte edilmiştir. HPLC’de hareketli faz olarak: 3,7 mM KH₂PO₄ (pH=4), akış hızı: 0.8 mL/dk ve 245 nm’ lik dalgaboyunda, Inertsil ODS-4 (5 µm, 4.6×150 mm) kolonu kullanılarak C vitamini miktarları tayin edilmiştir [17].

Örneklerin MDA miktarlarının belirlenmesi için; C vitamini tayini için hazırlanmış olan süzütüden 20 µL alınarak HPLC’ ye tekrar enjekte edilmiştir. HPLC’ de Inertsil ODS-4 (5 µm, 4.6×150 mm) kolonunda, 30 mM KH₂PO₄ ve metanol karışımı (%65-%35), pH: 4’e H₃PO₄ ile ayarlanmış mobil faz kullanılarak 254 nm dalga boyunda MDA miktarları belirlenmiştir [18].

3) *Serum, Karaciğer ve Böbrek Örneklerinde Selenyum Miktarlarının Belirlenmesi:* Selenyum tayini için serum, karaciğer ve böbrek örneklerinden (1.0 mL veya 1.0 g) alınmıştır. Örneklerin içerisine 5.0 mL perklorik asit: nitrik asit (1: 5, v /v oranında) karışımı ilave edilip, teflon bomba içerisinde 120 °C’ de etüvde 12 saat bekletilerek parçalanması sağlanmıştır [19]. Daha sonra oda sıcaklığına kadar soğutulan parçalanmış örnekler üzerine ortamın derişimi 4N HCl olacak şekilde derişik HCl ilave edilerek 90°C’ de su banyosunda 15 dakika ısıtılmıştır. Ortamda HNO₃ etkisiyle +6 değerliğe yükseltgenmiş olan selenyumun +4 değerlikli olması sağlanmıştır. Oda sıcaklığına kadar soğutulan örnekler üzerine 0.1 M EDTA çözeltisinden 5 mL ve 2.5 M HCOOH çözeltisinden de 2 mL katılarak karıştırılmıştır. Daha sonra ortamın derişimi 1000 µg/mL olacak şekilde 1,2-diaminobenzen çözeltisinden katılarak karıştırılmıştır. Kompleks oluşumu için 4N NH₃ile örneklerin pH’ ı 1.5’ e ayarlanmıştır. Kompleks oluşumunun tamamlanması için örnekler karanlıkta 60 dakika bekletilmiştir. Sürenin sonunda örnekler üzerine 0.5 mL n-hekzan ilave edilerek ayırma hunisine alınmış ve iyice karıştırılmıştır. Ayırma hunisindeki n-hekzan fazı bir tüpe alınmıştır. Kolon tüpe alınan n-hekzan fazından 20 µL alınarak HPLC’de dalga boyu 332 nm, mobil faz metanol : su (1:1) karışımı ile akış hızı 1 mL/dk’ ya ayarlanarak analizlenmiştir [20]. Bu çalışmada standart ekleme yöntemi uygulandığından çalışma grafiği ile Se grafiğinin paralel olduğu ve girişimin olmadığı tespit edilmiştir. Deneysel veriler çalışma grafiği ile değerlendirilmiştir.

4) *Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) Enzim Aktivite Miktarlarının Belirlenmesi:* GSH-Px H₂O₂ varlığında indirgenmiş glutayonun (GSH) yükseltgenmiş glutatyona (GSSG) yükseltgenmesini kataliz etmektedir. H₂O₂’ in bulunduğu ortamda GSH-Px’ in oluşturduğu GSSG, GSH-Rd ve NADPH yardımıyla tekrar GSH’ a indirgenir. GSH-P_x aktivitesi NADPH’ in NADP⁺’ye yükseltgenmesi sırasındaki absorbans farkının 340 nm’ de okunmasıyla ölçülmektedir.

GSH-Px aktivitesinin tayini için; örnek ve kör numune tüpleri alınmıştır. Örnek tüpüne 50 mM Fosfat tamponundan (pH 7.5) 2.66 mL, 150 mM GSH çözeltisinden 0.1 mL, 3 mM NADPH çözeltisinden 0.1 mL, ticari preparattan (U/mL, spesifik aktivite) direkt olarak seyreltme yapılmaksızın alınan GSH-Rd enziminden 0.01 mL, 1 M NaN₃ ve homojenattan 0.02 mL alınıp karıştırılmıştır. Kör tüpüne homojenat hariç diğer çözeltiler konulmuştur. Tüpler iyice karıştırılarak oda sıcaklığında 25°C 30 dk inkübe edilmiştir. Sürenin sonunda absorbansı okunacak her tüpe 0,1 mL H₂O₂ ilave edilerek reaksiyon başlatılmıştır. Dalga boyu 340 nm’ ye ayarlanmış spektrofotometrede örnekler 5 dk süre ile takip edilmiştir. Örneklerin İlk absorbans-son absorbans değerleri okunarak 5’e bölünmüştür. Sonuçlar U/mg protein olarak hesaplanmıştır [21].

5) *Kimyasallar:* Çalışmada kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıkta olup Merck firmasından temin edilmiş ve tüm çalışmalarda bidistile su, vitaminlerin analizlerinde ise Cecil 1100 serisi yüksek performanslı sıvı kromatografisi (Cotati marka 7125 enjeksiyon lobu, Cecil 68174 UV dedektörü ve HP 3395 integratörü) cihazı kullanılmıştır.

6) *İstatiksel Analiz:* Numune analizleri üç örnek halinde paralel yürütülmüştür. SPSS 17.0 Windows yazılımı (SPSS Inc. Chicago, IL, ABD) program kullanılarak yapılmıştır. Veriler ortalama ± standart

sapma olarak verilmiştir. Gruplar arasındaki farklılıklar Mann-Whitney U testi ve Duncan'ın çoklu aralık testi ile ifade edilmiştir. İstatistiksel anlamlılık $p < 0.05$ ve $p < 0.01$ olarak belirlenmiştir.

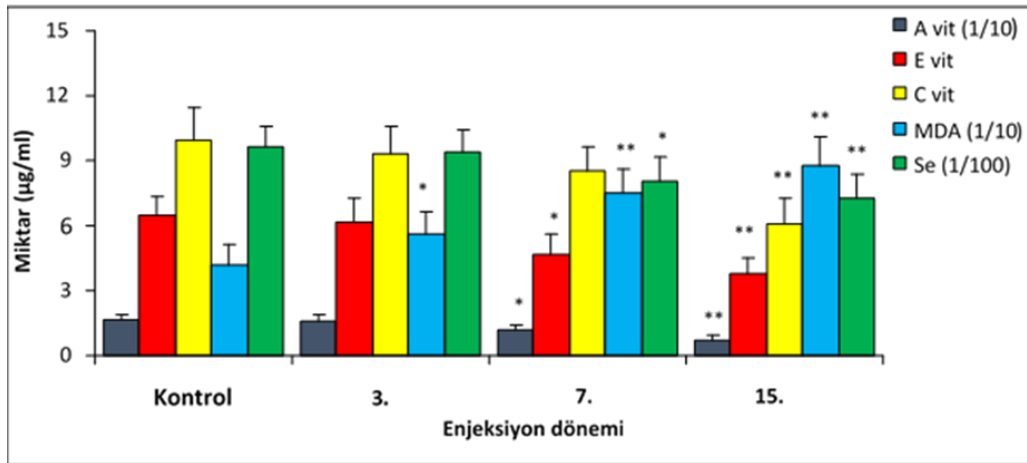
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

İndol halka sistemi, ilaç araştırmalarında en çok çalışılan farmakofor grupları arasında yer almaktadır [22]. Son yıllarda ticari olarak temin edilebilen çok sayıda ilaçta yaygın olarak bulunan İndazol analoglarına daha fazla ilgi gittikçe artmaktadır. İndazol türevleri anti-inflamatuar, antibakteriyel, anti-HIV, antiaritmikler, antifungal ve antitümör gibi geniş biyolojik aktivite yelpazesine sahiptir [23]. Antimikobakteriyel olarak aktif olan birçok farmakolojik ürünün yapısında mevcuttur [24-27]. 7-Nitro İndazol ile benzeri bir yapıya sahip olan 1H,1'H-3,3'-biindazol de indol ve indazol halkaları arasında π konjikasyonlu yapıya sahiptir. Çalışmamızdaki bu maddenin sentezi ve karakterizasyonu [28]'e göre yapıldı. Bu çalışmada, 1H,1'H-3,3'-biindazol enjekte edilen ratların antioksidan vitaminleri (A, E, C), Se ile lipid peroksidasyonunun bir ürünü olan malondialdehit (MDA) miktarına ve GSH-Px aktivitesine etkilerini belirlemek, ayrıca bu parametreler arasındaki ilişkilerini araştırmak amaçlanmıştır.

Hücre metabolik sürecin gereği olarak sürekli serbest radikaller ve reaktif oksijen türlerini üretir. Bu serbest radikaller, karmaşık bir antioksidan sistem tarafından nötralize edilmektedir. Oksidatif stress, serbest radikal ve reaktif oksijen türlerinin üretimi ile antioksidan sistemler arasındaki denge kaybı olarak tanımlanmıştır. Serbest radikal türleri lipidler, proteinler, karbohidratlar ve nükleik asitler gibi hücrelerin tüm önemli bileşenlerini etkilemektedir [29].

Yapılan bu çalışmada, 1H,1'H-3,3'-biindazol enjekte edilen ratların serum A, E ve Se düzeyleri incelendiğinde kontrol grubuna göre önemli miktarlarda düşüşlerin olduğu gözlemlendi. Bu düşüşlerin aksine serum MDA düzeylerinde artışlar gözlemlenmiştir ($p < 0.01$). Serum ve kontrol grubu C vitamini değerleri karşılaştırıldığında, 15. enjeksiyonda C vitamini düzeylerinde keskin bir düşüş tespit edilmiştir.

Lipid peroksidasyonun en önemli ürünü Malondialdehit' tir. Lipid peroksidatlar hızla parçalanarak reaktif karbon bileşiklerini oluştururlar. 7-NI enjeksiyonu yapılan epileptik ratlarda, MDA miktarının kontrol grubuna göre düştüğü bildirilmiştir [29]. Bu çalışmada 1H,1'H-3,3'-biindazol enjekte edilen ratların tüm enjeksiyon dönemlerindeki MDA miktarları ile kontrol grubu miktarları karşılaştırıldığında; serum, karaciğer ve böbrek numunelerinin hepsinde artışların olduğu belirlenmiştir. MDA miktarlarındaki bu artışın nedeni lipid peroksidasyonun sonucundan kaynaklanmış olabileceği düşünülmüştür [30-32]. Enjeksiyon dönemine bağlı olarak ratların serum örneklerinin A, E, C vitaminleri, Malondialdehit düzeyleri (MDA) ve Se miktarları Şekil 2' de gösterilmiştir.

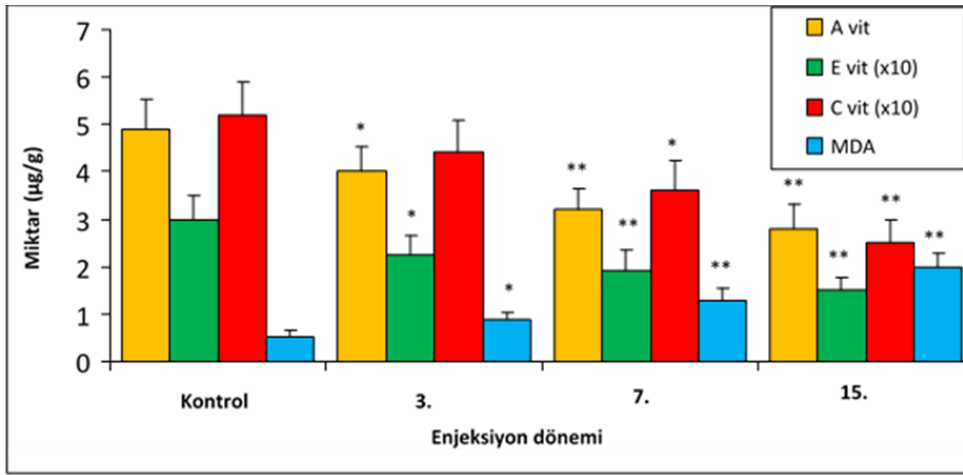


Şekil 2. Ratların enjeksiyon dönemine bağlı olarak serum vitamin (A, E, C), MDA ve Se miktarlarındaki değişim (*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$ kontrol ve deneysel grubun enjeksiyon dönemi)

3. Enjeksiyon sonunda karaciğer ve böbrek numunelerinde A, E ve C vitamin miktarları düşerken, MDA seviyelerinde artışların olması maksimum stresin olduğunu göstermiştir. Ratlarla yapılan bazı çalışmalarda artan MDA düzeylerinin A, E, C vitamin seviyelerinde düşüşlere yol açtığı bildirilmiştir [31, 32]. Serum A, E ve Se miktarlarının 7. enjeksiyondan sonra önemli derecede düştüğü ($p < 0.05$) bildirilmiştir. Karaciğer ve böbrek

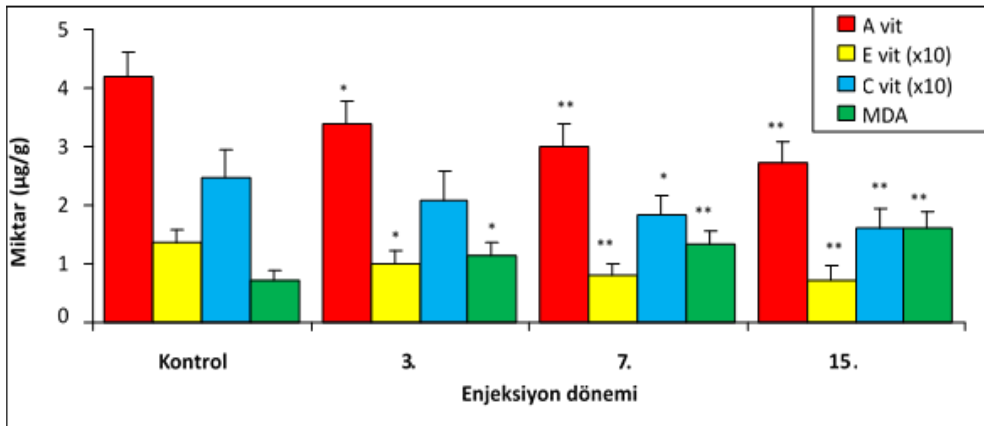
dokuların da ise; 3. enjeksiyondan sonra vitamin A, E ve Se miktarlarında düşüşlerin olduğu ($p < 0.05$) tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, karaciğerde depolanan A ve E vitamini düzeylerinin kademeli olarak tükendiğini göstermiştir.

Serum, karaciğer ve böbrek numunelerindeki C vitamini miktarları kontrol grubu değerleriyle karşılaştırıldığında, vitamin değerinde düşüşlerin olduğu belirlenmiştir. Bu düşüşlerin sebebinin C vitamininin antioksidan bir vitamin olması ve suda çözünen bir vitamin olmasından dolayı depolanamaması ile açıklanmıştır. Metabolik stresten kurtulmanın yolunun antioksidan vitaminlerin harcanmasıyla sağlandığı düşünülmüştür. Çünkü A, E, C ve Se vücuttaki enzimatik olmayan antioksidanlardır [33]. Sonuçlarımızın literatürlerle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Enjeksiyon dönemine bağlı olarak ratların karaciğer dokusu örneklerinin A, E, C vitaminleri, Malondialdehit düzeyleri (MDA) ve Se miktarları Şekil 3' de gösterilmiştir.



Şekil 3. Ratların enjeksiyon dönemine bağlı olarak karaciğer dokusu vitamin (A, E, C), MDA ve Se miktarlarındaki değişim (*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$ kontrol ve deneysel grubun enjeksiyon dönemi)

Enjeksiyon dönemine bağlı olarak ratların böbrek dokusu örneklerinin A, E, C vitaminleri, Malondialdehit düzeyleri (MDA) ve Se miktarları Şekil 4' de gösterilmiştir.

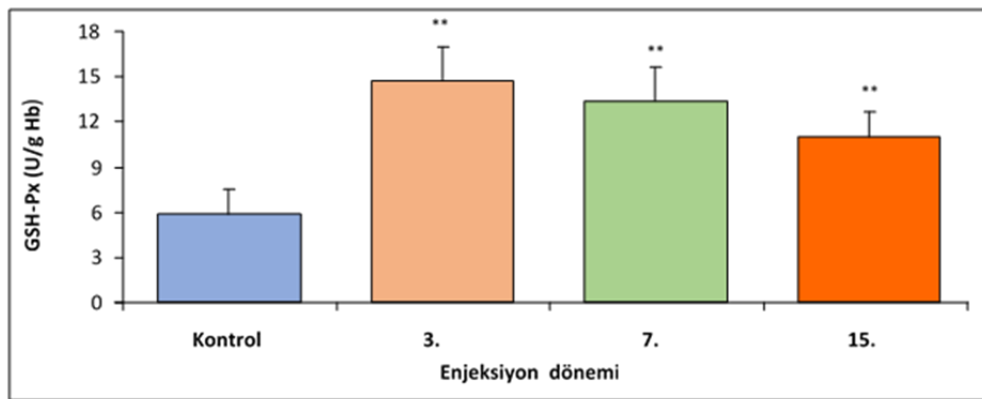


Şekil 4. Ratların enjeksiyon dönemine bağlı olarak böbrek dokusu vitamin (A, E, C), MDA ve Se miktarlarındaki değişim (*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$ kontrol ve deneysel grubun enjeksiyon dönemi)

Glutasyon Peroksidaz (GSH-Px) enzimi, organizmayı oksidatif hasarlardan koruyan bir selenoproteindir. Ayrıca bu enzimin ana biyokimyasal işlevi, glutatyonun oksitlenmesi yolu ile lipid veya lipid olmayan hidroperoksitleri ve H_2O_2 'in miktarlarını azaltmaktır [34]. Selenyum miktarı GSH-Px enzim aktivite miktarı ile doğrudan ilişkilidir. $1H,1'H-3,3'$ -biindazol enjekte edilen ratların GSH-Px enzim aktivite miktarları kontrol grubu miktarı ile karşılaştırıldığında; 3. enjeksiyonda enzim aktivite miktarının maksimum arttığı ($p < 0.01$) tespit edilmiştir. Ancak enzim miktarındaki bu artışın 7. ve 15. enjeksiyonlarda düştüğü belirlenmiştir (Şekil 5). Serum Se seviyeleri enjeksiyon sürelerine bağlı olarak kontrol grubuna göre sürekli artarken, GSH-Px enzim miktarları da kontrol grubu ile karşılaştırıldığında enzim aktivite miktarlarında artışların olduğu belirlenmiştir. Özellikle 3.

enjeksiyonda enzim aktivite miktarında ani bir artış saptanmıştır. 3. enjeksiyonun enzim aktivite miktarındaki ani artış sebebinin, 1H,1'H-3,3'-biindazol maddesi verilen ratlarda bu maddenin oksidatif strese karşı verdiği metabolik cevap olarak düşünülmüştür. Ayrıca 3. enjeksiyondan sonraki sürelerde enzim aktivite miktarlarının azalma sebebi metabolizmanın bu maddeye adaptasyonu ile açıklanabileceği düşünülmüştür. Streptozotosin ile diyabet oluşturulmuş ratlarda GSH-Px enzim miktarları incelenmiş ve enzim aktivite miktarlarının kontrol grubuna göre arttığı saptanmıştır. Ayrıca bu diyabetik ratlara C ve E vitamini verilerek böbrek dokularındaki GSH-Px enzim aktivite miktarı incelenmiştir. Vitamin verilen dokuların enzim aktivite miktarlarının azaldığı tespit edilmiştir [35]. Metabolizmaya alınan yabancı maddeler oksidatif strese yol açmış ve antioksidan sistemleri harekete geçirmiştir. Bulgularımızın literatürlerle uyumlu olduğu görülmüştür.

Ratların enjeksiyon dönemine bağlı olarak eritrosit örneklerindeki Glutasyon Peroksidaz Enzimi (GSH-Px) düzeyleri Şekil 5' de gösterilmiştir.



Şekil 5. Ratların enjeksiyon dönemine bağlı olarak eritrosit örneklerindeki GSH-Px düzeylerindeki değişim (*, p< 0.05; **, p< 0.01 kontrol ve deneysel grubun enjeksiyon dönemi)

IV. SONUÇ

1H,1'H-3,3'-biindazol maddesinin metabolizmaya uygulanması sonucunda, serbest radikal üretimine bağlı olarak MDA ve GSH-Px enzim aktivite miktarlarında artışlara, A, E, C antioksidan vitamin miktarlarındaise düşümlere yol açtığı belirlenmiştir. Rat serum, karaciğer ve böbrek dokularında aynı sonuçların gözleendiği ve birbirini desteklediği tespit edilmiştir. İndazol bileşiklerinin enflamatuvar hastalıklar, kanser, ateroskleroz, diyabet, kalp ve böbrek hastalıkları, hipertansiyon gibi daha bir çok hastalığın tedavisinde kullanıldığı yapılan literatür çalışmalarında bildirilmiştir. Yapılan bu çalışma ile; pek çok hastalığın tedavisinde kullanılan bu ilaç maddelerinin hayati önemlerinin olduğu ve bunların kullanımları esnasında antioksidan vitaminler ile Se desteğinin faydalı olabileceği kanaatine varılmıştır.

ETİK KURUL ONAYI

Bu çalışmanın Etik Kurul Belgesi, Cumhuriyet Üniversitesi Hayvan Denepleri Yerel Etik Kurulunda alınmıştır. Ayrıca çalışma protokolü kurumsal etik kurul onayı (2016, sayı 65202830- 050. 04.04. 2011) ile birlikte çalışma öncesinde yazılı onayı alınan gönüllülerde gerçekleştirilmiştir. Uygulanan prosedürler "Laboratuvar Hayvanlarının Bakım ve Kullanım Klavuzunda" belirtilen standartlara uygun olarak yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Schmidt, A., Beutler, B., & Snovydyovych, B. (2008). Recent advances in the chemistry of indazoles. *European Journal of Organic Chemistry*, 4073-4095.
- [2] Denya, I., Malan, S.F., & Joubert, J. (2018). Indazole derivatives and their therapeutic applications: a patent review (2013–2017). *Expert Opinion on Therapeutic Patents*, 28, 441–53.
- [3] Dong, J., Zhang, Q., Wang, Z., Huang, G., & Li, S. (2018). Recent advances in the development of indazole based anticancer agents. *Chem Med Chem*, 13, 1490–507.
- [4] Elguero, J., Fruchier, A., Tjiou, E.M., & Trofimenko, S. (1995). ¹³C NMR of indazoles. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, 31, 1006-1026.
- [5] Mosti, L., Menozzi, G., Fossa, P., Filippelli, W., Gessi, S., Rinaldi, B., & Falcone, G. (2000). Synthesis and preliminary biological evaluation of novel N-substituted 1-amino-3-[1- methyl (phenyl)-1H indazol 4-

- yl oxy]-propan-2-ols interesting as potential antiarrhythmic, local anesthetic and analgesic agents. *Arzneimittelforschung*, 50, 963-972.
- [6] Ali, N.A., Dar, B.A., Pradhan, V., & Farooqui, M. (2013). Chemistry and biology of indoles and indazoles: amini-review. *Mini- Reviews in Medicinal Chemistry*, 13(12), 1792-800.
- [7] Wang, Y., Yan, M., Ma, R., & Ma, S. (2015). Synthesis and Antibacterial Activity of Novel 4 Bromo-1H Indazole Derivatives as FtsZ Inhibitors. *Arch. Pharm Chemistry in Life Sciences*, 348, 266-274.
- [8] Gopalakrishnan, M., Sureshkumar, P., Thanusu, J., & Kanagarajan, V. (2008). Synthesis, spectral analysis, antibacterial and antifungal activities of some 4,6-diaryl-4,5-dihydro-3-hydroxy-2[H]-indazole- a novel fused indazole derivative. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 23, 974-979.
- [9] Lin, S., Zhang, F., Jiang, G., Qureshi, S. A., Yang, X., Chicchi, G. G., Tota, L., Bansal, A., Brady, E., Trujillo, M., Salituro, G., Miller, C., Tata, J. R., Zhang, B. B., & Parmee, E. R. (2015). A novel series of indazole-/indole based glucagon receptor antagonists. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 25, 4143-4147.
- [10] Zhang, H. C., Derian, C. K., Andrade-Gordon, P., Hoekstra, W. J., McComsey, D. F., White, K. B., Poulter, B. L., Addo, M. F., Cheung, W. M., Damiano, B. P., Oksenberg, D., Reynolds, E. E., Pandey, A., Scarborough, R. M., & Maryanoff, B. E. (2001). Discovery and optimization of a novel series of thrombin receptor (PAR-1) antagonists: Potent, selective peptide mimetics based on indole and indazole templates. *Journal of Medicinal Chemistry*, 44(7), 1021-1024.
- [11] Thomas, B., Saravanan, K. S., Kochupurackal, P., & Mohanakumar, K. P. (2008). In vitro and in vivo evidence that antioxidant action contributes to the neuroprotective effects of the neuronal nitric oxide synthase and monoamine oxidase-B inhibitor, 7-nitro indazole. *Neurochemistry International*, 52, 990-1001.
- [12] Shirinzadeh, H., Altanlar, N., Yucel, N., Ozden, S., & Suzen, S. (2011). Antimicrobial evaluation of indole containing hydrazone derivatives. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 66, 340-344.
- [13] Yurttaş, L., Ertaş, M., Cankılıç, M. Y., & Demirayak, Ş. (2017). Synthesis and antimycobacterial activity evaluation of isatin-derived 3-[(4-aryl-2-thiazolyl)]hydrazone]-1H-indol-2, 3-diones. *Acta Pharmaceutica Scientia*, 55, 51-58.
- [14] Servi, S., & Akgün, Z. R., (2002). A Novel and efficient synthesis of 3-aryl and 3-hetero-aryl substituted-1H-indazoles and their mannich derivatives. *Synthetic Communication*, 32(22), 3399-3405.
- [15] Miller, K. W., Lorr, N. A., & Yang, C. S. (1984). Simultaneous determination of plasma retinol, α - tocopherol, lycopene, α -carotene, and β -carotene by high performance liquid chromatography. *Analytical Biochemistry*, 38, 340-345.
- [16] Çetinkaya, N., & Özcan, H. (1991). Investigation of seasonal variations in cow serum Retinol and β -Carotene by high performance liquid chromatographic method comp. *Biochem. Physiol*, 100(4), 1003-1008.
- [17] Cerhata, D., Bauerova, A., & Ginter, B. (1994). Determination of ascorbic acid in serum using high-performance liquid chromatography and its correlation with spectrophotometric (colorimetric) determination. *Caska Slow Farm*, 43, 166-168.
- [18] Karatas, F., Karatepe, M., & Baysar, A. (2002). Determination of free malondialdehyde in human serum by high-performance liquid chromatography. *Analytical Biochemistry*, 311, 76-79.
- [19] Breyer, P. H., & Gilbert, B. P. (1987). Determination of Selenium (IV) differential pulse voltametry of the 3,3'-Diaminobenzidine piarselenol. *Analytica Chimica Acta*, 201, 23-32.
- [20] Arain, M. A., Khuhawar, M. Y., & Bhangar, M. I. (1999). Liquid chromatographic determination of Selenium in vegetables and tea leaves as 2,1,3-Benzoselenadiazole. *J. Chem. Soc. Pak*, 21(2), 137-140.
- [21] Paglia, D. E., & Valentine, W. N. (1967). Studies on quantitative and qualitative characteristics of erythrocyte glutathione peroxidase. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 70, 158-169.
- [22] North, J., & Jackson, M. C. (2018). Indole-based therapeutics. U.S. Patent Application No. 15/669, 289.
- [23] Yaquan, C., Chunying, L., Pu, Y., Pan, L., & Chunli, W. (2021). Indazole scaffold: a generalist form marketed and clinical drugs. *Medicinal Chemistry Research*, 30, 501-518.
- [24] Ashok, D., Gundu, S., Aamate, V. K., & Devulapally, M. G. (2018). Conventional and microwave-assisted synthesis of new indole-tethered benzimidazole-based 1,2,3-triazoles and evaluation of their antimycobacterial, antioxidant and antimicrobial activities. *Molecular Diversity*, 22, 769-778.
- [25] Nyantakyi, S. A., Li, M., Gopal, P., Zimmerman, M., Dartois, V., Gengenbacher, M., Dick, T., & Go, M. L. (2018). Indolyl Azaspiroketal Mannich bases are potent anti-mycobacterial agents with selective membrane permeabilizing effects and in vivo activity. *Journal of Medicinal Chemistry*, 61, 5733-5750.
- [26] Shirinzadeh, H., Altanlar, N., Yucel, N., Ozden, S., & Suzen, S. (2011). Antimicrobial evaluation of indole containing hydrazone derivatives. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 66, 340-344.

- [27] Yurttaş, L., Ertaş, M., Cankılıç, M. Y., & Demiryak, Ş. (2017). Synthesis and antimycobacterial activity evaluation of isatin-derived 3-[(4-aryl-2-thiazolyl)hydrazono]-1H-indol-2, 3-diones. *Acta Pharmaceutica Scientia*, 55, 51–58.
- [28] Servi, S., & Akgun, Z.R. (2002). A novel and efficient synthesis of 3-aryl and 3-heteroaryl substituted 1H-indazoles and their Mannich derivatives. *Synthetic Communications*, 32(22), 3399–3405.
- [29] Liu, Z.W., Zhang, T., & Yang, Z. (2007). Involvement of nitric oxide in spatial memory deficits in status epilepticus rats. *Neurochemical Research*, 32, 1875-1883.
- [30] Pawlak, W., Kedziora, J., Zolynski, K., Kedziora-Kornatowska, K., Blaszczyk, J., Witkowski, P., & Zieleniewski, J. (1998). Effect of long term bed rest in men on enzymatic antioxidative defense and lipid peroxidation in erythrocytes. *Journal of Gravitational Physiology*, 5, 163- 164.
- [31] Karatas, F., Kara, H., Servi, S., Kıran, T.R., & Saydam, S. (2008). Investigation of oxidative status of the 2-furan-2-yl-1H-benzimidazole in rats. *Biological Trace Element Research*, 126, 214- 221.
- [32] Karatas, F., Coteli, E., Aydın, S., Servi, S., & Kara, H. (2010). Effect of 3-(1H-Pyrrol-2-yl)-1H-indazole on the antioxidant status of rats. *Biological Trace Element Research*, 136, 79–86.
- [33] Halliwell, B. (1994). Free radical antioxidants in human disease. Curiosity cause or consequence. *The Lancet*, 344, 721-724.
- [34] Kaynar, H., Meral, M., Turhan, H., Keles, M., Celik, G., & Akcay, F. (2005). Glutathione peroxidase, glutathione-S-transferase, catalase, xanthine oxidase, Cu-Zn superoxide dismutase activities, total glutathione, nitric oxide and malondialdehyde levels in erythrocytes of patients with small cell and non-small cell lung cancer. *Cancer letters*, 227(2), 133-139.
- [35] Bostancı, H. E. (2014). Deneysel olarak Diyabet oluşturulmuş sıçanlarda vitaminlerin oksidasyona etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı, Denizli.

Araştırma Makalesi -Research Article

Elektrikli Araçlar İçin Akıllı Hibrit Şarj İstasyonu Örneği

Smart Hybrid Charging Station Example for Electric Vehicles

Ali Öter^{1*}, Fatih Baltacı²

Geliş / Received: 30/09/2021

Revize / Revised: 26/01/2022

Kabul / Accepted: 10/02/2022

ÖZ

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi kullanılarak Elektrikli Araçlar için akıllı hibrit şarj istasyonu tasarlanması hedeflenmiştir. Tasarlanan sistem, şarj istasyonu, fotovoltaik modül, akıllı inverter, depolama birimi, doğru akım-doğru akım düşüren tip dönüştürücü ve mikrodenetleyiciden oluşmaktadır. Şarj işlemi enerji öncelikle fotovoltaik modüllerden, yetersiz olması durumunda depolama biriminden, her iki kaynağın yetersiz olması ya da depolama birimindeki akülere aşırı yük bindiğinde, şebeke tarafından beslenecek şekilde akıllı inverter ayarları yapılmıştır. Akım ve gerilim kontrolü için mikrodenetleyicinin sinyal genişlik modülasyonu çıkışı ve doğru akım-doğru akım düşüren tip dönüştürücü kullanılmıştır. Dönüştürücünün parametreleri hesaplanarak Matlab/Simulink ile simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan değerlerin, yapılan simülasyon ile uyumu dikkate alınarak dönüştürücü devresi tasarlanmıştır. Akü doluluk durumuna göre sabit akım ya da sabit gerilim şarj modu seçilerek elektrikli araç aküleri kontrollü olarak şarj edilmiştir. Akım ve gerilim, geri beslemeleri kullanılarak referans değerlerle karşılaştırılıp sinyal genişlik modülasyonu görev oranının ayarlanması ile şarj işlemi yapılmıştır. Elektrikli araç aküleri, eşik akım değerinin altına düşüncüye kadar şarj işlemine devam edilmiştir. Akü sıcaklığı 55°C'yi geçtiğinde şarj işlemi sonlandırarak şekilde sistem programlanmıştır. Ayrıca sistem parametrelerindeki değişiklikler 2x16 likit kristal ekran kullanılarak görüntülenmiştir.

Anahtar Kelimeler- PV Modül, Mikrodenetleyici, DA-DA Dönüştürücü, Jel Akü, Şarj İstasyonu

ABSTRACT

The present study aims to design a smart hybrid station for electrical vehicles using solar energy as a renewable energy source. The designed system consisted of a charging station, photovoltaic module, smart inverter, storage unit, direct current-direct current converter, and micro controller. In the charging process, smart inverter settings were designed for the photovoltaic modules to supply energy primarily in case of insufficient energy from the storage unit when both sources were insufficient or when the batteries in the storage units were overloaded. For current and voltage control, signal width modulation output of microcontroller and direct current-direct current buck type converter were used. The parameters of the converter were calculated and simulated on Matlab/Simulink. The converter circuit was designed by considering the compatibility of the calculated values with the simulation. Electrical vehicle batteries were charged in a controlled manner by choosing a constant current or constant voltage charging method according to the battery charge. The charging process was performed by comparing the current and voltage with the references values using their feedback and adjusting the signal width modulation duty ratio. The charging process continued until the electrical vehicle batteries dropped below the threshold current value. The system was programmed to terminate the charging process when the battery

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: alioter@ksu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9546-0602>)

Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye

²İletişim fatihbaltaci4600@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-4370-1558>)

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, Kahramanmaraş, Türkiye

temperature exceeded 55oC. In addition, changes in the system parameters were displayed by using a 2x16 liquid crystal screen.

Keywords- PV Module, Microcontroller, DC-DC Converter, Gel Battery, Charging Station

I. GİRİŞ

Dünya nüfusu her geçen gün artmakta ve buna bağlı olarak ulaşım için trafiğe çıkan araç miktarı da artmaktadır. Bu araçlarda yaygın olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıt kullanımı sonucu ortaya çıkan hava kirliliği insan sağlığını olumsuz yönde etkilemekle birlikte, küresel ısınma, iklim değişikliği gibi istenmeyen durumlara da yol açmaktadır. Fosil yakıt kaynaklarının rezervlerinin sınırlı olması ve toplumda çevre bilincinin artması fosil kaynaklara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi hızlandırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtlara göre hem çevre dostu hem de tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, doğaya salınan karbon salınımının azaltılması gerekliliği ve bu salınımın en çok katkı yapan içten yanmalı motorlu araçların yerine, elektrik enerjisinin kullanıldığı elektrikli araçların kullanılması ön plana çıkmaktadır. Elektrikli araçlar (EA) mevcut elektrik şebekeleri kullanılarak şarj edileceği için elektrik şebekelerinde gerekli altyapının hazırlanmadan şarj istasyonlarının giderek yaygınlaşması özellikle araçların yoğun olarak şarj edildiği zaman aralıklarında şebekede ani yüklenmeler gibi bazı olumsuz durumlar ortaya çıkarmaktadır. Bu durum şebekenin kapasitesinin zorlanmasına aynı zamanda güç kalitesi gibi probleme yol açabilmektedir. Şebekenin kapasitesini arttırmak hem fazla maliyet hem de fazla iş gücü gerektirmektedir. Bunun önüne geçebilmek için hem şebeke kapasitesi artırımı zamana yayılmalı hem de yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılmalıdır.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi ve şebeke ile EA'lar için akıllı ve hibrit bir şarj istasyonu tasarımı hedeflenmiştir. Bu istasyon ünitesi ile işletmeler içerisindeki elektrikli mini araçların şarj işlemleri gerçekleştirilecektir. Güneş enerjisi kullanımı ile hem şebekeden şarj için sağlanan elektrikten tasarruf edilecek hem de çevre kirliliğinin önlenmesine katkı sağlanacaktır. Sistemde enerjinin sürekliliğini sağlamak için akülerden oluşturulmuş depolama birimi bulunmaktadır. Şarj edilecek olan EA'nın akülerinin şarj sırasında zarar görmemesi için kontrollü olarak şarj edilecektir. Şarj esnasında akım, gerilim, sıcaklık değerlerinin ölçülmesi ve güvenlik parametrelerinin dışına çıkılması durumunda devreyi kapatması için sensörler ve bir mikrodenetleyici kullanılarak sistem anlık olarak denetlenecektir. Elektrikli araç akülerinin şarjı için yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanıldığı hibrit sistemler ile ilgili yapılan çalışmalar ilk zamanlarda şarj yöntemleri ile ilgili iken sonraları karar destek sistemleri ve bu sistemlerin geliştirilmesi ile ilgili olmuştur. Bu çalışmalardan bazıları yapılış sırasına göre aşağıda sıralanmıştır.

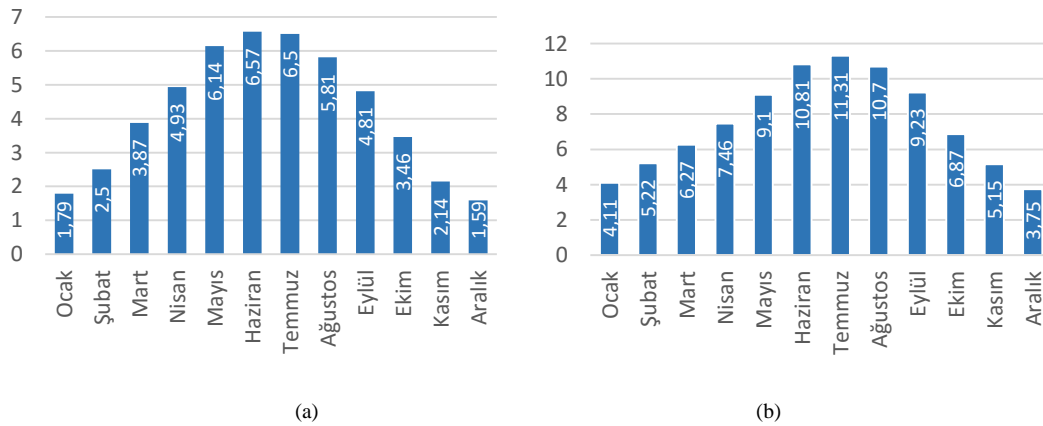
Liu ve Makaran tarafından, Fotovoltaik (PV) modül ile bir batarya şarj sistemi tasarlanmıştır. Sistem PV modül DA-DA yükselten dönüştürücü, mikrodenetleyici ve bataryadan oluşmaktadır. PV modülden maksimum gücü alabilmek için değiştirilebilir algoritması kullanılmışlardır. Sistemin simülasyonu yapılmış ve prototip bir uygulama ile sonuçlar doğrulanmıştır [1]. Üzerine güneş panelleri yerleştirilmiş bir elektrikli golf aracının bataryalarını, gerekli durumlarda desteklemesi amacı ile bir hidrojen yakıt pili kullanıldığı çalışmada, aracın bataryalarının şarjı için ilk etapta güneş panellerinden yararlanılmıştır. Yakıt pili sadece güneşten sağlanan güç yetersiz geldiğinde kullanılmıştır [2]. Arancibia ve Strunz şarj süresinin kısaltılması için DA hızlı şarj istasyonu modellemesi yapmışlardır. Düşünülen şarj istasyonu 1 MW gücünde olup modelleme Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Sistemde üç fazlı inverter, sistem harmoniklerini bastırmak için LCL filtre ve buck boost (düşüren-yükselten) dönüştürücü kullanılmıştır. Aynı anda birden fazla elektrikli aracın şarjının mümkün olduğu DA bara voltajının, akü voltajının ve akü akımının davranışlarının uygun olduğu sonucuna varmışlardır [3]. Atasorkun, tarafından rüzgâr ve güneş enerjisi için akıllı şarj kontrol ünitesi tasarlanmıştır. Sistemde akım sensörü, gerilim sensörü ve sıcaklık sensörü kullanarak akülerin zarar görmemesini engelleyecek tedbirler alınmıştır [4]. Mouli ve ark. Hollanda'da iş yerinde güneş enerjisinden yararlanılarak, akülü elektrikli araçları şarj etme olasılığı üzerine çalışma yapmışlardır. 10kW'lık bir PV dizi düşünülmüş ve Hollanda Meteoroloji Enstitüsü'nden alınan verilerle Matlab'ta modellenmiştir. Hava sıcaklığı da dikkate alınarak yapılan çalışmada maksimum verimin elde edildiği açının 28°C olduğu sonucuna varmışlardır [5]. Güleç, tarafından yapılan çalışmada PV sistemlerde Arduino ile kontrollü batarya şarj uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, PV sistemden gelen ortalama 20V DA gerilimini DA-DA düşüren tip dönüştürücü ile 14.5V batarya gerilimine indirgeyerek şarj işlemi gerçekleştirmiştir. Sistemin simülasyon ve gerçek değerlerini karşılaştırmış ve sonuçların uyumlu olduğunu gözlemlemiştir [6]. Yüzer ve ark., güneş ve rüzgâr enerjilerini kullanarak hibrit yenilenebilir enerji sistemleri için mikrodenetleyici yardımı ile maksimum 10A akım değerine sahip bir şarj regülatörü tasarımı gerçekleştirmişlerdir.

Akü kullanım ömrünü uzatmak için sürekli olarak batarya gerilim ve sıcaklık gibi değerleri ölçerek kontrollü olarak şarj işlemi gerçekleştirmişlerdir [7]. Aynı yıl yapılan bir başka çalışmada, bir bataryanın şarj deşarj işlemi için düşüren-yükselten dönüştürücü tasarlamışlardır. Sistem PV modül, 24V'luk şebeke ve 12V'luk depolama birimi olarak düşünülmüş, Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Yapılan çalışmada, dönüştürücü parametreleri hesaplanarak simülasyonu yapılmış ve simülasyon sonuçlarının hesaplanan değerler ile örtüştüğü gözlemlenmiştir [8]. Çiçek ve ark., elektrikli araç otoparkının toplam enerji maliyetini düşürme amacı ile PV batarya hibrit sistemi tasarlamışlardır. Bataryaları hem PV'den artan enerji ile hem de elektriğin ucuz olduğu tarife dönemlerinde şarj ederek, pahalı olduğu dönemlerde kullanarak toplam maliyeti azaltmaya yönelik şarj yönetimi modeli oluşturmuşlardır [9]. 2019 yılında yapılan bir başka çalışmada lityum iyon araç bataryalarını şarj etmek için, Matlab/Simulink ortamında bir şarj yöntemi benzetimi yapmıştır. Batarya paketi maksimum şarj gerilimi olan 134.4V'a ulaşana kadar sabit 15A akımla şarj edilmiş ve maksimum şarj gerilimine ulaştığında ise sabit gerilim yöntemi ile şarj edilmiştir [10]. Akdeniz, tarafından ise değiştir gözle algoritması kullanılarak, Arduino ile maksimum güç noktasını takip eden bir solar şarj kontrolörü gerçekleştirmiştir. PV paneller aracılığı ile güneşten yüksek verimde elektrik enerjisi elde edilmeye ve kontrollü bir şekilde akümülatör şarj işlemi yapılmaya çalışmıştır [11]. Yurdakul ve ark., PV sistemlerden elde edilen enerji ile bataryalar şarj edilirken bataryanın aşırı şarj/deşarj olmasının önüne geçme amaçlı bir çalışma yapmışlardır. Çalışma Matlab/Simulink ortamında PI denetleyici ve DA-DA azaltan tip dönüştürücü kullanılarak gerçekleştirilmiş. İntegral ve türev katsayıları deneme yanılma yoluyla belirlenerek farklı çalışma şartlarında benzetimler yapılmıştır [12].

II. MATERYAL VE METOT

A. Yenilenebilir Enerji

Buhar gücünün keşfi ve sanayi devriminin başlangıcı ile birlikte üretimde enerjinin önemi anlaşılmış, daha az insan gücü kullanılarak daha hızlı üretim yapılmış bu da teknolojinin daha hızlı gelişmesine yol açmıştır. Maliyetinin düşük olmasından dolayı 19. yüzyılın başlarından itibaren fosil yakıtlara geçilerek üretim ve tüketimin her alanında kullanılmaya başlanmıştır. Fosil kaynakların ekonomik maliyetleri, çevreye verdikleri zararların giderek artması ve fosil kaynakların giderek azalması gibi nedenlerden dolayı ülkeler fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir [13]. Bu kaynaklar güneş ışığı, rüzgâr, hidrolik, biokütle, jeotermal, dalga ve hidrojenidir. Yenilenebilir enerji kaynakları tüketilirken doğal döngü içerisinde hızlı bir şekilde kendini yenilediği için tükenmeyen enerji kaynaklarıdır [14]. Dünyamıza hayat veren güneş ışığı gelişen teknoloji sayesinde elektrik üretimi, hidrojen üretimi, sıcak su temini, sera ısıtmaları gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisi sonsuz kabul edilen bir enerji olmasının yanında kesikli bir enerjidir. Kış aylarında az, geceleri ise hiç olmadığından güneşten yararlanabilmek için bölgenin güneş enerjisi potansiyeli çok önemlidir. Türkiye konumu sayesinde yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip bir ülkedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yayınlanan, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)'na göre Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme süresi 2741,07 saat olup, ortalama yıllık toplam ışınım değeri 1527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır [15]. Şekil 1'de Türkiye'nin aylara göre ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri verilmiştir.



Şekil 1. (a) Türkiye'nin aylara göre ışınım değeri (kWh/m²). (b) Türkiye'nin aylara göre güneşlenme süreleri (saat)

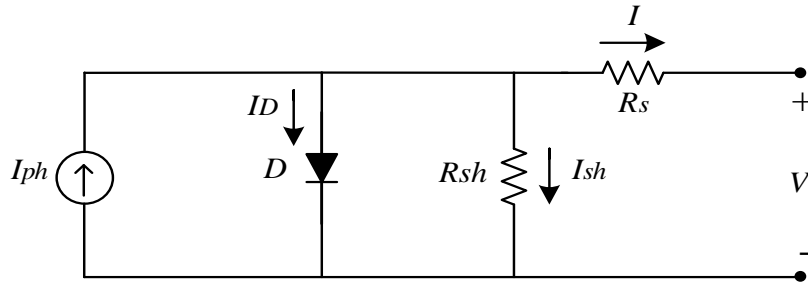
B. Güneş Hücreleri ve PV Sistemler

Güneş hücreleri, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken elemanlardan oluşan elektronik parçalardır. Güneş hücreleri üzerine düşen ışık miktarına göre uçlarında gerilim üretilirler [16]. Bir güneş hücresinin çıkışından alınabilecek voltaj değeri yaklaşık 0.5 V civarındadır [17]. Güç talebine göre birden fazla güneş hücreleri birleştirilerek akım ve gerilimleri düzenlenebilir. Güneş hücreleri paralel bağlanarak akımları, seri bağlanarak gerilimleri artırılabilir. Hücreler birleştirilerek modül, panel ve diziler oluşturulur. Oluşturulan bu yapıların güçleri birkaç Watt'tan Mega Watt'lara kadar ihtiyaca göre ayarlanabilir PV sistemler oluşturulur.

PV sistemler; sadece PV modüllerden ibaret olmayıp içerisinde farklı bileşenler barındıran sistemlerdir. Güneşten elde edilen elektrik enerjisini, tüketicinin kullanacağı enerji seviyesine dönüştüren, içerisinde şarj regülatörü Doğru Akım-Alternatif Akım (DA-AA) dönüştürücü, akü gibi cihazlar barındıran sistemin tamamı PV sistemdir [18]. Bu sistemler şebekeye bağlantılı (on-grid) ya da şebekeden bağımsız (off-grid) olarak tesis edilebilmektedir.

C. Güneş Hücrelerinin Elektriksel Eşdeğer Modeli

Güneş pillerinin üzerlerine ışık geldiğinde elektronların hareketi ile elektrik akımı oluşur. Işınım etkisine bağlı olarak değişken bir akım meydana gelir. Karanlık ortamda ise yarı iletken diyotun V-I karakteristiğine benzer özellik gösterirler [19]. Güneş pilleri tek, çift ve üçlü diyot modelleri kullanılarak modellenebilmektedir. Hesaplama kolaylığı ve doğruluk açısından en çok tercih edilen devre modeli tek diyotlu eşdeğer devre modelidir [20]. Şekil 2'de güneş pilinin tek diyot eşdeğer devresi verilmiştir bu devre aynı zamanda simülasyon çalışmalarında kullanılmıştır.



Şekil 2. Güneş pilinin tek diyotlu eşdeğer devresi

Buradaki I_{ph} foton akımını, D diyotu, R_s seri direnci, R_{sh} paralel direnci temsil etmektedir. R_s ve R_{sh} dirençleri hücre verimini etkilemektedir. R_s , hücredeki iç direnci ve bağlantı kontaklarından oluşan direnci temsil ederken, R_{sh} kristal kusurlardan oluşan direnci temsil etmektedir. Paralel direnç açık devre gerilimi ve dolun faktörünü azaltırken seri direnç ise kısa devre akımını ve dolun faktörünü azaltmaktadır[21]. Güneş pilinin parametreleri Denklem (1), Denklem (2), Denklem (3), Denklem (4) ve Denklem (5)'te verilen formüller ile hesaplanmaktadır.

$$I_{sh} = \frac{V_D}{R_{sh}} = \frac{V + I.R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

$$I_0 = I_{rs} \left[\frac{T}{T_n} \right]^3 \exp \left[\frac{q.E_{g0} (1/T_n - 1/T)}{n.K} \right] \quad (2)$$

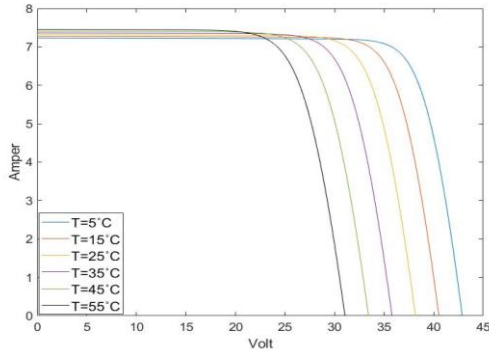
$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{e^{\left(\frac{qV_{oc}}{n.N_s K T} \right) - 1}} \quad (3)$$

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T - 298)] \frac{G}{1000} \quad (4)$$

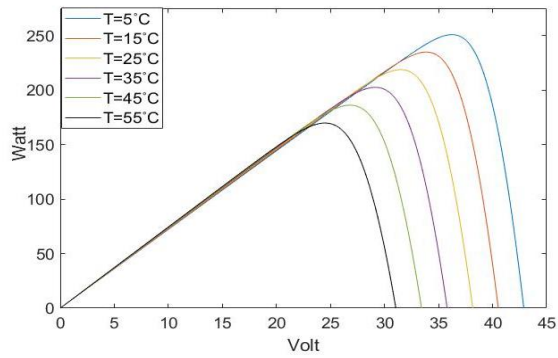
$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + I.R_s)}{n.N_s K T} \right) - 1 \right] - I_{sh} \quad (5)$$

Denklemlerde verilen; I güneş pilinin çıkış akımını, I_0 sıcaklığın etkisine bağlı olarak diyot doyma akımı, q elektron yükü ($1,602 \times 10^{-19} \text{C}$), K Boltzmann sabiti ($1,38 \times 10^{-23} \text{J/K}$), T Kelvin cinsinden mutlak sıcaklığı Eg0 yarı iletken bant aralığı enerjisi (1.1 eV), Irs ters doyma akımını, Ns seri bağlı hücre sayısını, VOC açık devre voltajını, n diyot ideallik faktörünü ve G güneş ışınımını (W/m^2) gösterir [22].

Yapılan çalışmada kullandığımız 275W PV modülün matematiksel modeli, yukarıdaki denklemler kullanılarak Matlab/Simulinkte oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda elde edilen sabit güneş ışınımı ve farklı sıcaklık değerlerindeki akım gerilim (I-V) ve güç gerilim (P-V) grafiği Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.

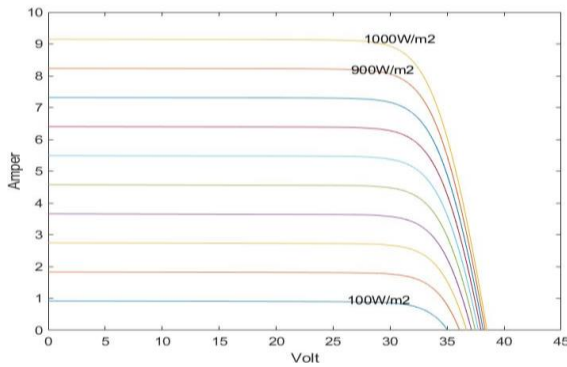


Şekil 3. I-V sabit ışık şiddeti-değişken sıcaklık

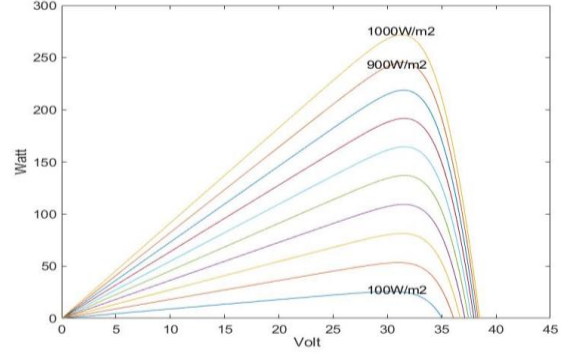


Şekil 4. P-V sabit ışık şiddeti-değişken sıcaklık

Şekil 3 ve Şekil 4'te ışık şiddeti 800W/m^2 değerinde sabit tutularak, sıcaklık değerleri 5°C 'den başlayarak 10°C 'lik artışlarla 55°C 'ye kadar I-V ve P-V karakteristik eğrileri verilmiştir. I-V karakteristiği incelendiğinde sıcaklık arttıkça akım değerinde 25mA kadar çok küçük bir artış görülürken, gerilim değerinde $2,4 \text{V}$ civarında gözle görülür bir azalma olduğu görülmektedir. Gerilimdeki azalma akımdaki artıştan fazla olduğundan, P-V karakteristiğine bakıldığında gücün tepe değerinin sıcaklık arttıkça azaldığı görülmektedir. Şekil 5 ve Şekil 6'da sabit sıcaklıkta farklı güneş ışınım şiddetlerindeki PV modülün I-V ve P-V grafiği verilmiştir.



Şekil 5. I-V değişken ışık şiddeti-sabit sıcaklık



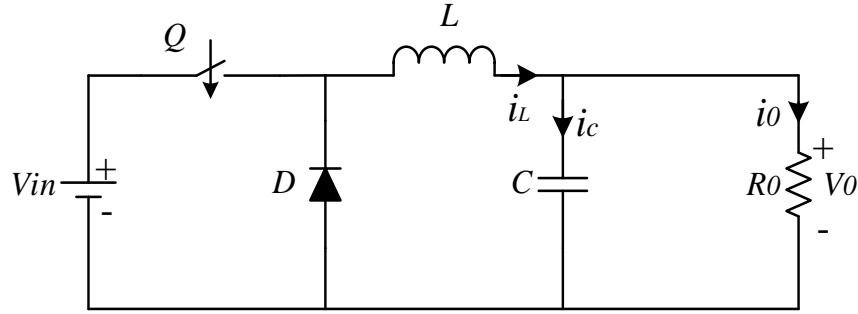
Şekil 6. P-V değişken ışık şiddeti-sabit sıcaklık

Şekil 5 ve Şekil 6'da sıcaklık değeri 25°C 'de sabit tutularak, ışık şiddeti 0'dan başlayarak 100 'er 100 'er 1000W/m^2 kadar artırılmış karakteristik eğriler verilmiştir. Işık şiddetinin değeri arttıkça akımın 914mA , gerilimin ise $1,4 \text{V}$ ile $0,6 \text{V}$ arasında arttığı görülmektedir. Bu akım ve gerilimdeki artış gücü doğrudan etkilediğinden, P-V grafiğinde gücün artışı açıkça görülmektedir. Güneş ışınımındaki her artış akım gerilim ve güç olmak üzere 3 parametreyi birden artırmaktadır.

D. Anahtarlamalı DA-DA Dönüştürücüler

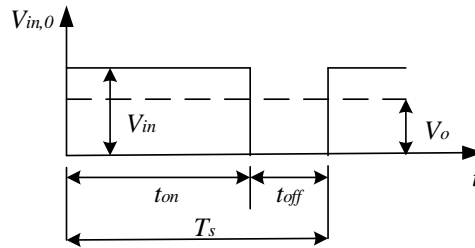
Anahtarlamalı DA-DA dönüştürücüler, anahtarlama tekniği kullanılarak bir kaynaktan elde edilmiş doğru akımdan farklı bir değerde doğru akım elde etmek için kullanılan elektronik devrelerdir. Anahtarlamalı DA-DA dönüştürücülerde kullanılan yarı iletken anahtarın kontrolü PWM ile kontrol edilir. Bu dönüştürücülerin DA motor

kontrolü, güneş ve rüzgâr enerji sistemleri gibi birçok kullanım alanı vardır. PV sistemlerde maksimum güç çekilebilmesi amacı ile yükte PV arasında DA-DA dönüştürücüler kullanılır. Tasarlanan sistemin gücüne göre alçaltan ya da yükselten tip DA-DA dönüştürücüler tercih edilir. Yapılan çalışmada düşüren tip DA-DA dönüştürücü kullanılmıştır. Genel olarak bu dönüştürücüler; bir yarı iletken anahtar, diyot endüktans ve kondansatör olmak üzere 4 elemandan oluşurlar. Yarı iletken anahtar olarak BJT, MOSFET ve IGBT kullanılmaktadır. Girişe uygulanan DA gerilimi belirli periyotlar ile kıyarak çıkışa ilettiklerinden çıkış gerilimi, giriş geriliminden daima küçük olur. Şekil 7’de DA-DA düşürücü tip dönüştürücü devre şeması verilmiştir.



Şekil 7. DA-DA düşürücü tip dönüştürücü

Şekil 7’de verilen devrede V_{in} giriş gerilimini, Q yarı iletken anahtarlama elemanını, D diyotu, L endüktansı, C kondansatörü, R_0 yük direncini V_0 çıkış gerilimini ifade etmektedir. Q anahtarının doyum noktasında çalıştırılması ile endüktans üzerinden yüke enerji aktarımı sağlanır. Anahtarın kesimde olduğu sürece de endüktans üzerinde depolanan enerji yük üzerine aktarılarak devrenin çalışması tamamlanır. Şekil 8’de yarı iletken anahtarın anahtarlama sinyali grafiği, Denklem (6)’da görev oranının formülü verilmiştir.



Şekil 8. Anahtarlama sinyali

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} = \frac{V_0}{V_{in}} \quad (6)$$

DA-DA dönüştürücünün çıkış voltajı, t_{on} süresinin bir fonksiyonudur. Görev oranı olarak adlandırılan (D), Q anahtarının iletimde olduğu süre t_{on} ve anahtarlama periyodu T_s ’nin süresine bağlıdır. Görev oranı $0 \leq D \leq 1$ aralığında değerler alabilmektedir [23]. Dönüştürücü çıkış akım ve geriliminin dalgalanmasını ayarlamak için endüktans ve kondansatör kullanılır. Çıkış akımındaki dalgalanmayı azaltmak için endüktans değerinin hesaplanması gerekir. Endüktans akımının değeri Denklem (7)’de, endüktans akımındaki dalgalanma miktarı ise Denklem (8)’de verilmiştir.

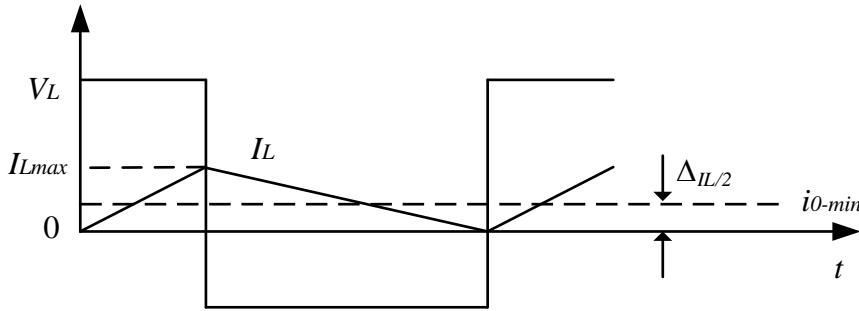
$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int V_L(t) dt \quad (7)$$

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} (V_{in} - V_0) dt_s = \frac{1}{L} V_0 (1 - D) T_s \quad (8)$$

Denklemler düzenlendiğinde L endüktansının değeri Denklem (9)'daki gibi elde edilir.

$$L = \frac{V_0(V_{in} - V_0)}{\Delta I_L \cdot f_s \cdot V_{in}} \quad (9)$$

Düşürücü DA-DA dönüştürücüyü sürekli akım modunda çalıştırmak istiyorsak endüktans akım değerinin sınırını bilmemiz gerekir. Şekil 9'da I_L akımının sınır değerde çalışması gösterilmektedir. Eğer çıkış akımı i_{0-min} değerinden küçük olursa süresiz, büyük olursa sürekli akım modunda çalışacaktır. Sürekli akım modundaki en düşük endüktans değeri Denklem 10'da verilmiştir.



Şekil 9. DA-DA düşüren tip çalışma modu sınır değerleri

$$L > \frac{V_0 \cdot (1 - D)}{2f_s i_{0-min}} \quad (10)$$

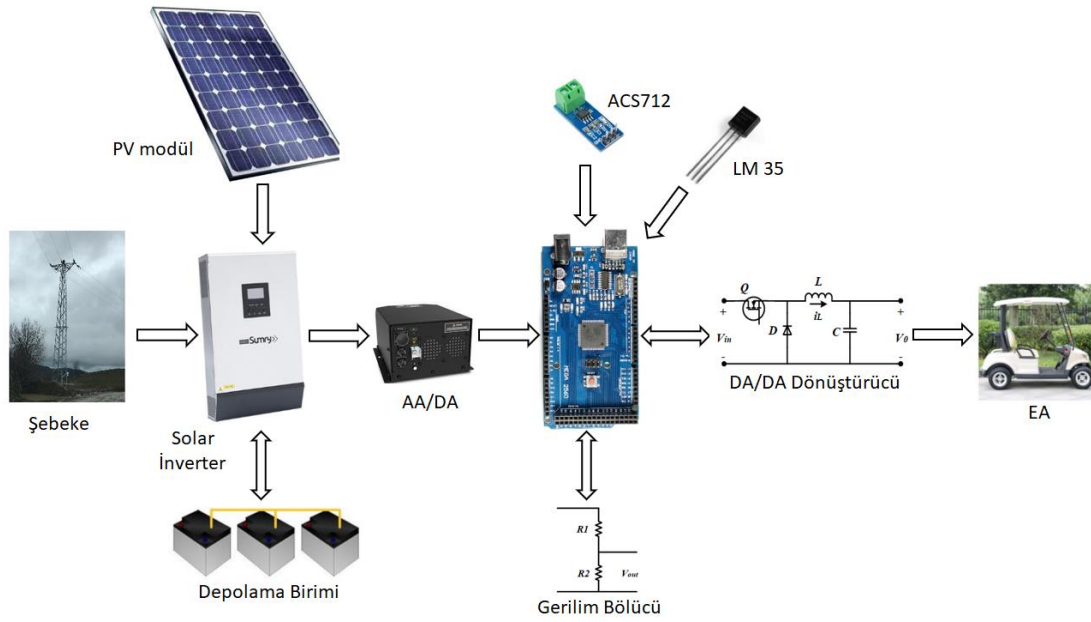
Dönüştürücü çıkışında akımın dalgalanmasının istenmediği gibi, gerilim dalgalanması da istenmeyen bir durumdur. Çıkış gerilimindeki dalgalanmayı azaltmak için kondansatör kullanılmaktadır. Kullanılacak olan kondansatör değeri Denklem 11 ile hesaplanır.

$$C = \frac{V_0 \cdot (1 - D)}{8 \cdot L \cdot \Delta V_0 \cdot f_s^2} \quad (11)$$

III. SİSTEMİN KURULUMU VE ÇALIŞMASI

A. Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Denetim Sistemi

Hibrit şarj istasyonu için yapılan çalışmada Şekil 10'da verilen yapı kullanılmıştır. EA şarj işleminde birinci önceliğimiz güneş enerjisinden yararlanmak olacaktır. Akıllı inverter ile EA'ya aktarılabilecek enerji için öncelikle güneş enerjisinden üretilen enerjinin kullanılması hedeflenmiştir. Eğer güneş enerjisi yetersiz gelirse depolama birimindeki aküler devreye alınarak enerjinin hem güneşten hem de depolama biriminden aktarılması sağlanacaktır. Her ikisinin de yetersiz kaldığı ya da depolama birimindeki akülere fazla yüklenildiğinde gerekli olan enerji şebeke tarafından karşılanacak şekilde inverter ayarlanmıştır. Akıllı inverter ile yapılan bu ayarlamalar ile EA'nın aküleri maksimum derecede güneş enerjisinden faydalanılarak şarj edilecektir. İnverter çıkışındaki AA'yı doğrultmak için 70V çıkışlı AA-DA dönüştürücü kullanılmıştır. Tasarlanacak olan DA-DA dönüştürücü, 70V DA gerilimini, EA akü şarj gerilimine dönüştürülecektir. Sistemde kullanılan mikrodenetleyici, akım, gerilim ve ısı sensörleri aracılığı ile sistemi sürekli denetleyecektir. Mikrodenetleyici aynı zamanda yarı iletken anahtarın PWM sinyalini üretme ve LCD ekranı sürme görevini icra edecektir.



Şekil 10. EA şarj istasyonunun bileşenleri

B. Kullanılan PV Modül

Sistemde 4 adet 275W değerinde polikristal PV modüller kullanılmıştır. Tablo 1'de kullanılan PV modülün teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan PV modülün etiket değerleri

PV Modülün maksimum gücü (P _{max})	275 W
Açık devre gerilimi (V _{oc})	38.5 V
Kısa devre akımı (I _{sc})	9.15 A
Maksimum güçteki gerilim (V _{mp})	31.3 V
Maksimum güçteki akım (I _{mp})	8.79 A
Çalışma sıcaklığı	-40 °C +85 °C
Maksimum sistem voltajı	1000V DC

C. Depolama Birimi

Şarj esnasında PV modülün ürettiği enerjinin yetmediği durumlarda ve üretilen fazla enerjinin depo edileceği yer olan depolama birimi sistemin en önemli kısımlarından biridir. Tablo 2'de kullanılan jel akülere ait özellikler verilmiştir.

Tablo 2. Tasarımda kullanılan jel akülerin özellikleri

Nominal Voltaj	12V
Kapasite	55 AH
Maksimum Şarj başlangıç akımı	13.75A
20°C deki ömür beklentisi	10 Yıl
Ebatlar	229*138*211

D. Sistemde Kullanılan Akıllı İnverter

Kullanılan inverterin görevi PV modülden elde edilen elektrik enerjisini alarak regüle etmek ve depolama birimine aktarmaktır. Jeneratör veya şebeke ile şarj desteği bulunan hibrit bir inverterdir. Şebeke ya da güneş enerjisi önceliği seçimi mevcuttur. Üzerinde bulunan LCD ekran üzerinden PV modül durumu, akü durumu, bağlı ise şebekeden alınan enerji durumu ve sistemin genel durumu hakkında bilgiler anlık olarak alınabilmektedir. Akü

şarj gerilimi ve şarj akımı sistemde kullanılacak olan aküye göre değiştirilebilmektedir. Tablo 3'te kullanılan inverterin özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.Tasarımda kullanılan tam sinüs solar inverter özellikleri

Nominal akü sistem voltajı	24V
Varsayılan güç	3000VA
Dalga formu	Tam Sinüs
Maksimum PV Voc	80V
Maksimum solar şarj akımı	50A
Verimlilik	%98
Ebatlar	350*285*110
Ağırlık	6.3kg

Sistemde önceliğimiz güneş enerjisinden elde edilen enerjiyi kullanmak. Aynı zamanda depolama biriminde bulunan akülerin şarjı esnasında akülere zarar vermeden şarj etmektir. İnverterin bağlı bulunduğu sisteme uyum sağlaması için ayarlarının yapılması gerekir. İnverter üzerinde toplam 29 ayar sekmesi mevcuttur.

E. Arduino Mikrodenetleyici Kartı

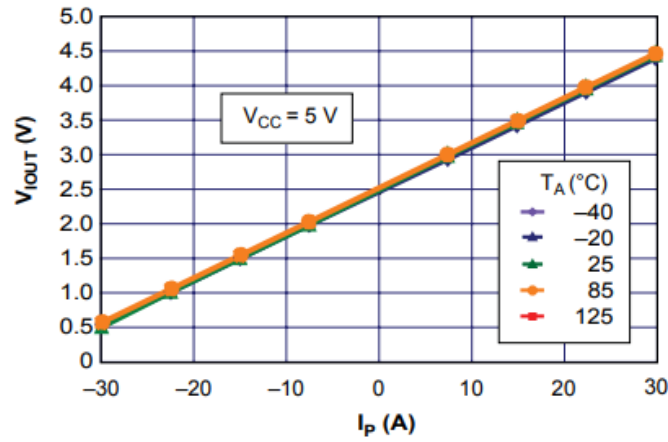
Arduino, mikrodenetleyici kartı ve yazılım paketinden oluşan bir programlama platformudur. Her kesime hitap edebilmesi için kolaylık ön planda tutularak tasarlanmıştır. Kart üzerinde bir mikro kontrolcü bulunur ve yazılan programlara göre giriş ve çıkış pinlerini kontrol eder. Ayrıca shield adı verilen Arduino üzerine takılabilen ek donanımlar bulunmaktadır. Bu donanımlar Arduino'yu daha işlevsel hale getirmektedir. Arduino açık kaynak kodlu yazılım kullanılmaktadır. Programlama dili, C programlama dili ile hemen hemen aynıdır. Temel bir C dili bilgisi ile kolayca kod yazmak mümkündür. Yazılan kodlar bir USB kablosu ile mikro işlemciye kolaylıkla aktarılabilir. Sistemde, üzerinde ATmega328 mikrodenetleyici içeren bir Arduino Uno kartı kullanılmıştır. Kart üzerinde 14 tane dijital giriş çıkış pini bulunmaktadır. Bunlardan 6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir. 6 adet analog giriş pini ve 16 MHz kristal osilatörü bulunmaktadır [24]. Tablo.4'te Arduino Uno mikrodenetleyicinin özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.Arduino Uno mikrodenetleyicinin özellikleri

Mikrodenetleyici	ATmega328
Çalışma gerilimi	+5 V DC
Besleme gerilimi	7 – 12 V DC
Dijital giriş / çıkış pinleri	14 adet
Analog giriş pinleri	6 adet
Giriş / çıkış pin başına akım	40 mA
3,3 V pini için akım	50 mA
Saat frekansı	16 MHz

F. ACS 712 Akım Sensörü

Araç akü grubu ve güç kaynağımızın limitleri içerisinde akımın aktarılabilmesi için akımın anlık olarak ölçülmesi gerekmektedir. Ölçme işlemi için ACS 712 akım sensörü kullanılmıştır. ACS 712 akım sensörü hall etkisi yöntemi ile yüksek hassasiyetle ölçüm yapan bir sensördür. Bu ölçüm yöntemi sayesinde akım ölçme işlemi sırasında elektronik yalıtım sağlanmaktadır. Şekil 11'de sensörün üzerinden geçen akıma karşılık ürettiği gerilim değerinin grafiği verilmiştir.



Şekil 11. Sensörün ölçtüğü akıma karşılık ürettiği gerilim

G. Gerilim Bölücü Devre

Araç akü grubu şarj edilirken sürekli olarak gerilim değerinin mikrodenetleyici tarafından ölçülmesi gerekmektedir. Ölçülen gerilim değerine göre hem akülerin doluluk oranı belirlenecek hem de sabit akım-sabit gerilim şarj modu belirlenecektir. Ölçme işlemi yapılırken akım sensöründe olduğu gibi analog giriş pinleri kullanılır. Mikrodenetleyici analog giriş pinlerine uygulanabilecek maksimum gerilim değeri 5V'tur. Akü grubunun gerilim değeri doğrudan ölçüldüğünde mikrodenetleyiciye zarar vereceğinden, gerilim bölücü devre üzerinden ölçüm yapılmalıdır.

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (12)$$

Gerilim bölücü devre hesabı yapılırken denklem 13'den yararlanır. Çıkış gerilimi (V_{out}), giriş gerilimi (V_{in}) ve direnç değerlerine bağlıdır. Devrede kullanılan direnç değerleri, mikrodenetleyici analog giriş değeri ve aküye uygulanacak maksimum gerilim değeri göz önüne alınarak hesaplanmalıdır. Mikrodenetleyici analog girişine maksimum 5V uygulanabildiğinden, gerilim bölücü devrede $R_1=56.6k\Omega$, $R_2=2.16k\Omega$ değerleri seçilmiştir. Aküye uygulanacak maksimum gerilim değeri 52V seçilirse, Denklem 12'ye göre;

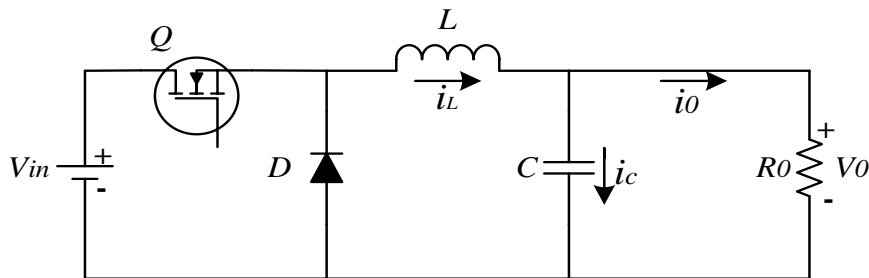
$$V_{out} = 52V \frac{2,16\Omega}{56,6\Omega + 2,16\Omega} = 1,91V$$

Seçilen direnç değerleri sonucu hesaplanan 1,91V değeri mikrodenetleyici analog girişine güvenli bir şekilde uygulanabilir.

H. LM35 Isı Algılayıcı

Şarj esnasında kullanılan akülerin sıcaklık değerleri ölçülerek, yüksek sıcaklıklarda şarj işlemi sonlandırmak için devrede bir LM35 ısı algılayıcı kullanılmıştır. LM35 her 1°C değişime karşı 10mV gerilim değeri oluşturmaktadır. Analog çıkışı sayesinde, mikrodenetleyiciler tarafından rahatlıkla kullanılabilir.

I. DA-DA Düşüren Tıp Dönüştürücü Tasarımı



Şekil 12. DA-DA düşüren dönüştürücü

Şekil 12’de verilen devrede 70V DA gerilimi giriş gerilimi olarak kullanılırken, yarı iletken anahtar, endüktans, kondansatör, diyot ve yük olarak da EA akü grubu kullanılmıştır. Devrede anahtarlama elemanı olarak MOSFET yarı iletken anahtarı kullanılmıştır.

Giriş gerilimi 70V, yük olarak ise 43,2V akü şarj gerilimi referans alındığında MOSFET anahtarının görev oranı Denklem (6) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{43,2}{70} = 0,617$$

MOSFET anahtarının görev oranı %61,7 olarak hesaplanmıştır. Kayıplar dikkate alınarak yüke aktarılan akımın minimum değeri 1A, akımdaki dalgalanma miktarı% 10 ve anahtarlama frekansı ise 20 kHz seçilmiştir. Devrenin sürekli akım modunda çalışabilmesi için gerekli minimum endüktans değeri Denklem (10) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$L > \frac{43,2 \cdot (1 - 0,617)}{2 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 413,64 \mu H$$

Çıkış gerilimindeki dalgalanma 50mV olarak seçilirse, gerekli kondansatör değeri Denklem (11) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$C = \frac{43,2 \cdot (1 - 0,617)}{8,413,64 \mu H \cdot 50mV \cdot 20kHz^2} = 250 \mu F$$

J. Yarı İletken Anahtar ve Diyot Seçimi

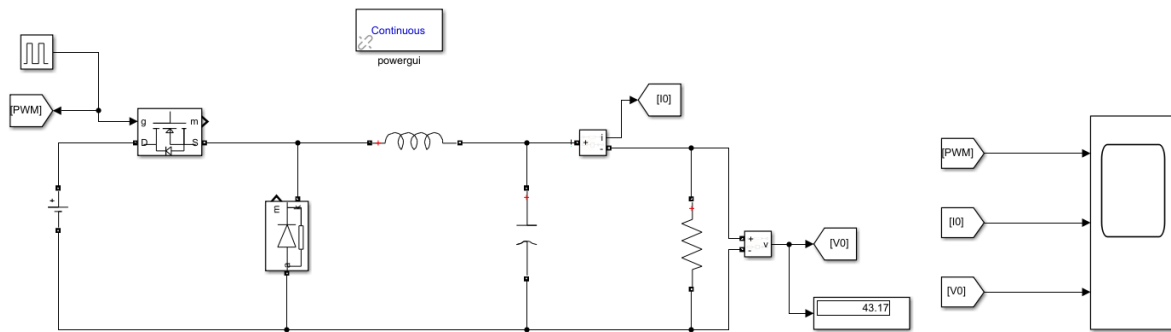
Devrede kullanılacak olan MOSFET anahtar 70V dönüştürücü çıkışına bağlanmıştır ve aküye aktarılacak maksimum akım değeri 13A’dır. MOSFET anahtarının güvenliği açısından 100V 23A’lık IRF540N MOSFET anahtar kullanılmıştır. MOSFET anahtarın anahtarlama sinyali Arduino mikrodenetleyicinin 9 nolu pininden üretilecektir. Arduino pin çıkış gerilimi maksimum 5V olduğundan MOSFET anahtarının kapı gerilimini arttırmak için devrede bir TLP250 entegresi (optokuplör) kullanılmıştır. TLP250 entegresinin görevi PWM sinyalini yükseltmek, aynı zamanda Arduino ile devre arasında izolasyon sağlamaktadır.

Devrede diyot olarak Schottky diyot tercih edilmiştir. Schottky diyotlar, yüksek anahtarlama hızına ihtiyaç duyulan devrelerde doğrultma amacı ile kullanılmaktadır. Düşük ileri gerilim düşümü ve hızlı anahtarlama gibi özellikleri, diğer diyotlardan ayırt edici özellikleridir. İletimde iken Schottky diyot üzerine düşen gerilim 0,15V-0,45V arasındadır. Bu da devrenin verimini artırmaktadır. Devrede kullanılmak üzere 100V 30A değerine sahip MBR30100 Schottky diyot seçilmiştir. MOSFET anahtar ve Schottky diyotun soğutulması için alüminyum soğutucu tercih edilmiştir. Soğutmayı iyileştirmek için fan, ısıl iletkenliği artırmak için ise ısı transfer pastası kullanılmıştır.

IV. SONUÇLAR

A. DA-DA Dönüştürücü Simülasyon Çalışması

Sistem için tasarlanan DA-DA dönüştürücünün teorik olarak hesaplanan endüktans ve kondansatör değerleri kullanılarak simülasyon çalışması yapılmıştır. Şekil 13’te verilen devre şeması Matlab/Simulink ortamında oluşturularak simülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

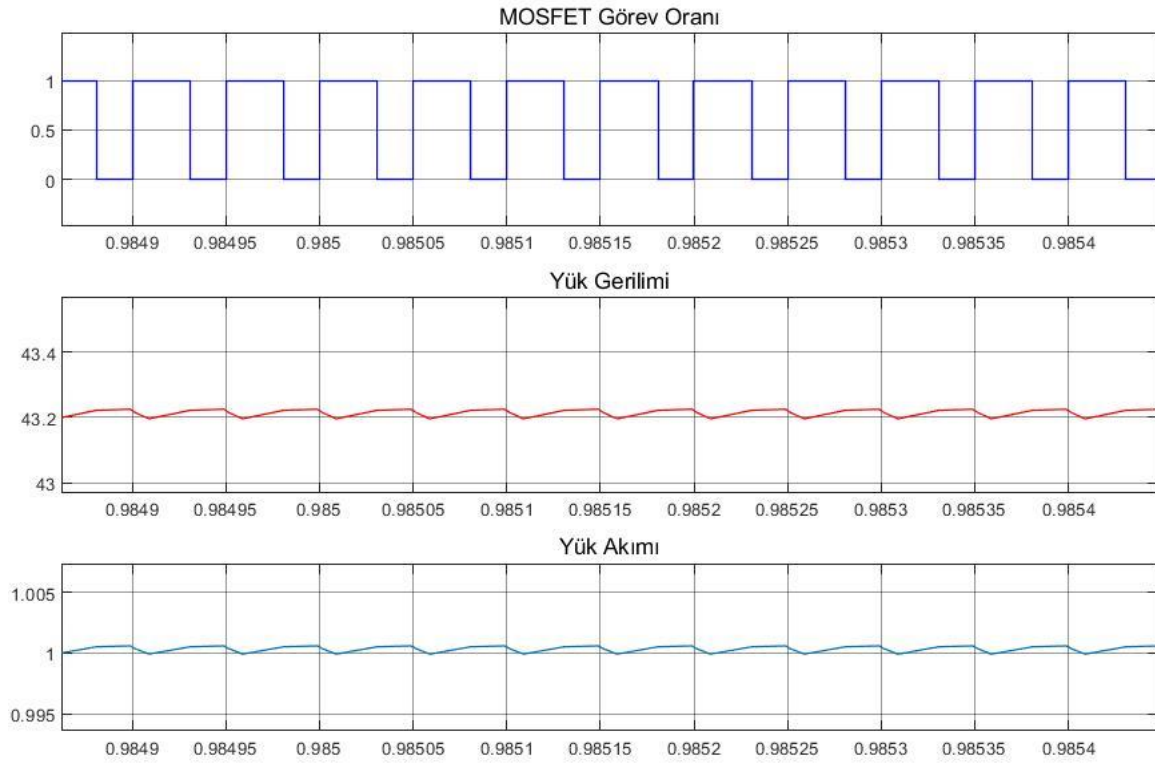


Şekil 13. DA-DA Dönüştürücü simülasyon devresi

Devrede yük olarak kullanılan direncin değerini, akü şarj voltajı ve geçecek akım miktarına bağlı olarak hesaplırsak, aküye uygulanacak minimum şarj voltajı 43,2V ve devreden geçecek en küçük akım değeri 1A olarak alındığında yük aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_{bat} = I_{min} \cdot R_{yük} \rightarrow R_{yük} = \frac{V_{bat}}{I_{min}} = \frac{43.2V}{1A} = 43.2\Omega$$

Simülasyonda, devrede yük olarak 43,2 Ω direnç, hesaplanan endüktans kondansatör değerleri ve girişte ise 70 V DA değerleri kullanılmıştır. Anahtarlama frekansı 20kHz ve anahtar görev oranı % 61,7 ile simülasyon işlemi yapılmıştır. Simülasyon işlemi sonunda elde edilen grafikler Şekil 14’de verilmiştir.

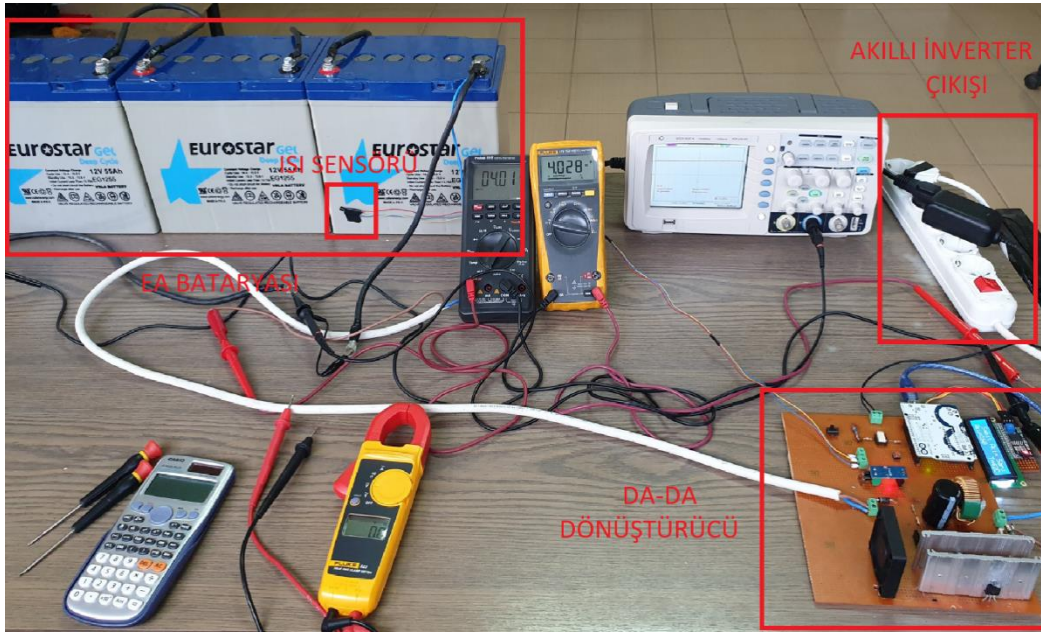


Şekil 14. DA-DA dönüştürücü simülasyon grafikleri

Yapılan simülasyon sonucunda, MOSFET anahtarının görev oranı, yük akımı ve yük geriliminin eğrileri Şekil 14’deki gibi elde edilmiştir. Şekilde %61,7 anahtarlama grafiği hesaplandığı gibi uygulanmıştır. Yük gerilimi incelendiğinde seçilen 50 mV dalgalanma ile 43,2 V çıkış gerilimi elde edilmiştir. Yük akımı incelendiğinde ise hesaplanan 1A akım değerinin yaklaşık %10 dalgalanma ile elde edildiği görülmektedir.

B. DA-DA Dönüştürücünün Deney Çalışması

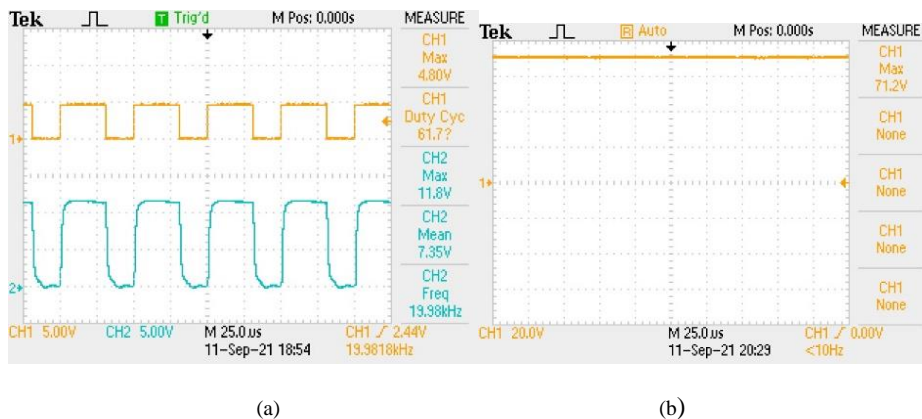
Matlab/Simulink ortamında simülasyonu yapılan DA-DA dönüştürücünün uygulaması gerçekleştirilmiştir. Şarj işlemi için 70V DA kaynağı, mikrodenetleyici, sensörler ve DA-DA dönüştürücüden oluşan devrenin resmi Şekil 15’de verilmiştir.



Şekil 15. Dönüştürücü uygulamasına ait bir görüntü

Şekil 15’de görüldüğü gibi devre delikli plaket üzerine monte edilerek kablolarla iletişimi sağlanmıştır. Aşırı akımlardan devreyi korumak için dönüştürücü girişinde 15A cam sigorta kullanılmıştır. EA aküsü olarak üç adet 12V jel akü kullanılmıştır. Giriş çıkış akımlarını ölçmek için Fluke ve Protek marka dijital ölçü aletleri kullanarak ölçümler yapılmıştır. Ayrıca osilaskop yardımı ile şarj işlemi yapılırken dönüştürücü çıkış sinyali gözlemlenmiştir.

Uygulama devresi için tasarlanan DA-DA dönüştürücü, EA’nın akülerini şarj etmede kullanılmadan önce, devrenin simülasyonunda kullanılan akım, gerilim ve yük değerleri ile test edilmiştir. Şekil 16 (a)’da Arduino’nun ürettiği PWM sinyali ve MOSFET anahtarının kapı sinyali verilmiştir. 20kHz frekansa sahip PWM sinyalinin görev oranı hesaplandığı gibi %61,7 olarak ölçülmüştür. Arduino tarafından üretilen sinyalin genliği, MOSFET anahtarın sürülmesi için yetersiz geldiğinden devrede bir TLP250 entegresi kullanılmıştır. Maksimum değeri 4,8V olarak ölçülen PWM sinyali, TLP250 entegresi ile 11.8V’a yükseltilmiştir. Şekil 16 (b)’de ise 70V DA giriş geriliminin sinyali verilmiştir. Osilaskop ekranında giriş geriliminin değerin 71.2V olduğu görülmektedir.

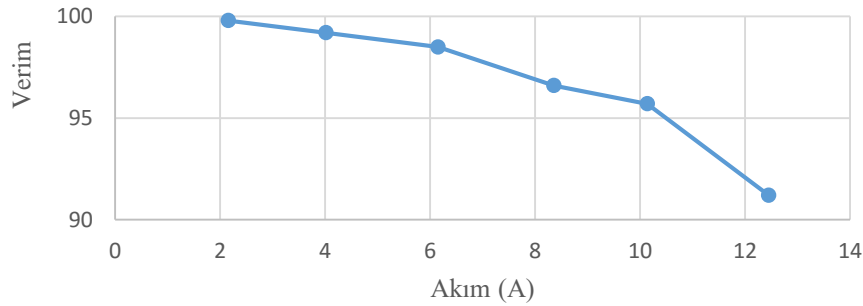


Şekil 16. (a) Arduino’nun ürettiği PWM sinyali ve MOSFET anahtarının kapı sinyali (b) Dönüştürücü giriş sinyali



Şekil 17. (a) Dönüştürücü çıkış sinyali. (b) Şarj sırasında alınan dönüştürücü sinyali

Simülasyonda verilen yük durumunda dönüştürücü çıkışından alınan sinyal şekil 17 (a)'da, şarj sırasındaki çıkış sinyali ise şekil 17 (b)'de verilmiştir. Şekil 17 (a)'da verilen osiloskop görüntüsü incelendiğinde, yük geriliminin ortalama 43.8V olduğu, dalgalanmanın ise 800mV olduğu görülmektedir. Simülasyon değerleri ile test edilen devrenin osiloskop ile alınan sonuçları, simülasyon sonucunda alınan sinyallerle karşılaştırıldığında yaklaşık olarak örtüştüğü görülmektedir. Şekil 17 (b)'de verilen yük durumundaki osiloskop görüntüsü incelendiğinde, şarj esnasında batarya geriliminin 42.4V olduğu, gerilimdeki dalgalanmanın ise 1600mV olduğu görülmektedir. Şekil 18'de farklı çalışma akımlarında alınan değerler ile oluşturulan DA-DA dönüştürücünün verim grafiği gösterilmiştir. Dönüştürücünün ortalama veriminin yaklaşık %97 olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 18. DA-DA dönüştürücünün farklı akımlardaki verimi

V. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Hayatımızda sayıları giderek artan EA'ların gelecekte fosil yakıtlı araçların yerini alacağı düşünülmektedir. Bu araçlar şarj edilirken fosil yakıt kullanılarak üretilen elektrik ile şarj edilmesi, fosil kaynaklara olan bağımlılığımızı azaltmayacağı ortadadır. Bu araçlar şarj edilirken yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak şarj edilmesi hem ekonomik olarak hem de çevresel olarak çok önemlidir.

Bu çalışmada PV modüllerden üretilen enerjinin kullanılmadığı dönemlerde ya da üretim fazlasının depolanması için jel akülerden bir depolama birimi oluşturulmuştur. Şarj esnasında PV modül, şebeke ve depolama biriminin enerji yönetimi için sistemde akıllı inverter kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmıştır. Prototip olarak tasarladığımız akıllı hibrit şarj istasyonu, araçlar şarj edilirken şebekeden kullanılan elektrikten tasarruf edileceği öngörülmektedir. Bireysel, kamu ve özel sektör alanlarında istenilen alana kurulumu yapılarak rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca şebeke olmayan yerlerde kullanılmak üzere ihtiyaca göre depolama kapasitesi artırılarak kullanılabilir. Yapılacak ileriki çalışmalar ile gerçekleştirilen sistemde program değişiklikleri yapılarak 12-24-48V farklı gerilimlerdeki EA'lar şarj edilebilir. Yüksek güçlerdeki EA'ların şarj işlemi için PV modül ve depolama kapasitesi artırılır ve devre elemanları ile ilgili hesaplar yeniden yapılarak şarj istasyonu kapasitesi genişletilebilir. Ayrıca, PV modül ve DA-DA dönüştürücü verimlerini artırmak için PID ya da yapay zekâ temelli denetleyicilerin kullanımı ile sistem veriminin artırılması için çalışmalar yapılabilir.

TEŞEKKÜR

Yapılan bu çalışma 2019/4-3 YLS numaralı proje kapsamında yapılmış olup yazarlar desteğinden ötürü KSÜ Bilimsel Araştırma Birimine teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] Liu, K., & Makaran, J. (2009). *Design of a solar powered battery charger*. 2009 IEEE Electrical Power & Energy Conference (EPEC).
- [2] Altanneh, N., (2012). *Güneş pili ve hidrojen yakıt pilinden beslenen küçük bir elektrikli araç için batarya şarj sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [3] Arancibia, A., & Strunz, K. (2012). *Modeling of an electric vehicle charging station for fast DC charging*. 2012 IEEE International Electric Vehicle Conference.
- [4] Atasorkun, M., (2015). *Rüzgar ve güneş enerjisi için akıllı şarj kontrol ünitesi tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- [5] Mouli, G. C., Bauer, P., & Zeman, M., (2016). *System design for a solar powered electric vehicle charging station for workplaces*. *Applied Energy*, 168, 434-443.
- [6] Güleç, H. G., (2017). *Fotovoltaik Uygulamalarda Arduino Kontrollü Batarya Şarj Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [7] Yüzer, E. Ö., Erduman, A., & Durusu, A., (2018). Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri İçin Şarj Regülâtörü Tasarımı. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 47-57.
- [8] Jadhav, S., Devdas, N., Nisar, S., & Bajpai, V. (2018). *Bidirectional DC-DC converter in solar PV system for battery charging application*. International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET).
- [9] Çiçek, A., & Erdiñç, O., (2019). *PV-Batarya Hibrit Sistemi İçeren Elektrikli Araç Otoparkının Şarj Yönetimi*. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(15), 466-474.
- [10] Kılıç, E., (2019). *DA-DA Yükselten Dönüştürücü ile Elektrikli Araç Batarya Şarj Cihazı Tasarımı*. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(4), 281-287.
- [11] Akdeniz, H. Y., (2019). *Arduino tabanlı MPPT solar şarj kontrolörü tasarımı ve uygulaması*. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyon.
- [12] Yurdakul, H., Delitay, E. C., Akyazı, Ö., & Şahin, E., Technology. (2020). *Güneş Enerjisi Sistemleri için Arduino Tabanlı Matlab/Simulink Programı Üzerinden Denetlenen Akü Şarj Ünitesi Tasarımı ve Uygulaması*. *Journal of Investigations on Engineering*, 3(1), 17-22.
- [13] Şenkardeşler, F. R. A., (2021). *Sürdürülebilir Büyümede Enerjinin Rolü: Türkiye'nin Kaynak Bolluğu-Enerji Kıtılığı Paradoksu*. *Maliye ve Finans Yazıları*(Özel Sayı 2), 145-172.
- [14] Adıyaman, Ç., (2012). *Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikaları*. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Niğde.
- [15] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2021). *Güneş*. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>. (Erişim Tarihi:10.06.2021)
- [16] Bayrak, G., & Cebeci, M., (2012). *3.6 kW gücündeki fotovoltaik generatörünmatlab simulink ile modellenmesi*. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 28(3), 198-204.
- [17] Çelebi, G., (2002). *Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri*. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(3), 17-33.
- [18] Akcan, E., Kuncan, M., & Minaz, M. R., (2020). *PVsyst yazılımı ile 30 kw şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin modellenmesi ve simülasyonu*. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 248-261.

- [19] AlRashidi, M., El-Naggar, K., & AlHajri, M., (2013). Parameters estimation of double diode solar cell model. *International Journal of Electrical*, 7(2), 118-121.
- [20] Şentürk, A., (2018). *Fotovoltaik modüllerin akım-gerilim eğrilerinin simülasyonunda kullanılacak olan yöntemin seçimi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 341-354.
- [21] Özçalık, H. R., Yılmaz, S., & Kılıç, E., (2013). *Güneş Pili Bir Diyotlu Eşdeğer Devre Yardımıyla Matematiksel Modelinin Çıkarılması ve Parametrelerinin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 23-29.
- [22] Singhal, A. K., & Narvey, R., (2011). PSIM and MATLAB based simulation of PV array for enhance the performance by using MPPT algorithm. *International Journal of Electrical Engineering*, 4(5), 511-520.
- [23] Skvarenina, T. L. (2018). *The power electronics handbook*. CRC press. Boca Raton London New York Washington, D.C. 664.
- [24] Aqeel, A., (2018). *Introduction to Arduino Uno*. <https://www.theengineeringprojects.com/2018/06/introduction-to-arduino-uno.html>. (Erişim Tarihi:22.06.2021)

Araştırma Makalesi - Research Article

Yozgat İlindeki Bazı Sulama Birliklerinde Uygulanan Sulama Faaliyetlerinin Su Kullanıcıları Tarafından Değerlendirilmesi

Evaluation of Irrigation Activities Implemented in Some Irrigation Associations in Yozgat Province by Water Users

Gülşah Şengönül Aslan^{1*}, Burak Nazmi Candoğan²

Geliş / Received: 30/09/2021

Revize / Revised: 09/03/2022

Kabul / Accepted: 09/03/2022

ÖZ

Bu çalışmada, Kızılırmak Havzası Yozgat İli içerisinde yer alan altı adet sulama birliğinin (Yahyasaray, Paşaköy, Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil, Yerköy-Yenimahalle Sol Sahil/Köseli, Sekili ve Esenli) faaliyetleri 2014-2015 yıllarında su kullanıcılarına yapılan anket çalışmasıyla değerlendirilmiştir. Çiftçilerle yapılan anketlerde, baraja en uzak mesafede olan sulama sahalarına suyun çok geç verilmekte olduğu ve sulama süresinin yeterli olmadığı, bakım-onarım çalışmaları açısından çiftçilerin pek de memnun olmadığı, çiftçilerde henüz sulama birlikleri ile beraber etkili çalışmalarının işleri daha hızlandıracağı bilincinin oluşmadığı ve sulama sahasındaki çiftçilerin son yıllarda sulama konusunda herhangi bir eğitim almadıkları belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, sulama suyunun yetersiz olduğu durumlarda su kullanıcılarının çoğunluğu kendi tecrübelerine göre kısıntılı sulama yaptıklarını, çiftçilerin yarısına yakını ise sulama zamanına karar verirken belirli bir yöntem kullanmadıklarını belirtmişlerdir. Bu bağlamda, sulama projelerinden beklenen faydanın sağlanabilmesi ve etkin bir su yönetimi için sulama birliği faaliyetlerini değerlendirme çalışmaları sürdürülmeli ve çıkan sonuçlara göre eksikler belirlenip sorunlar çözüme ulaştırılmalıdır.

Anahtar Kelimeler- Çiftçi, Anket, Sulama Birliği

ABSTRACT

In the study, the activities of six irrigation associations located in the Kızılırmak Basin Yozgat Province were evaluated through a survey conducted with water users in 2014-2015. In the surveys made with the farmers, it was seen that the water is given to the irrigation areas at the farthest distance from the dam too late and the irrigation time is not enough, the farmers are not very satisfied in terms of maintenance and repair works, and the farmers are not yet aware that their effective work together with the irrigation associations will speed up the work. It has been determined that the farmers in the irrigation area have not received any training on irrigation in recent years. In addition, in cases where irrigation water is insufficient, the majority of water users stated that they use limited irrigation according to their own experience, and nearly half of the farmers stated that they do not use a specific method when deciding on the irrigation time. In this context, evaluation studies of irrigation association activities should be continued in order to provide the expected benefit from irrigation projects and for an effective water management, and deficiencies should be determined according to the results and problems should be resolved.

Keywords- Water User, Survey, Irrigation Association

^{1*}Sorumlu yazar iletişimi: senonulaslan@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-0491-506X>)

Bahçelievler İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, İstanbul

²İletişim: bncandogan@uludag.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-9898-5685>)

Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Ziraat Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa

I. GİRİŞ

Sulama yatırımlarından istenen faydaların sağlanabilmesi için, sulama tesislerinde bilinçli işletim, teknik sulama ve tarımsal hizmetlerin yerine getirilmesi gerekmektedir. Bunun yapılabilmesi için de, sulama şebekesinin tüm unsurlarıyla (su iletim ve drenaj kanalları, yedek kanallar, su alma yapıları vb.) gereksinim duyulan suyun istenen zamanda ve miktarda iletimini sağlayacak şekilde olması, sulama sezonu ile sulama zamanlarının doğru planlanması, su dağıtım programlarının planlı olarak hazırlanması ve uygulamaya geçilmesi, sulama hizmetlerinde görevli personellerin ve sulamadan faydalanacak çiftçilerin eğitilmeleri gerekmektedir [1].

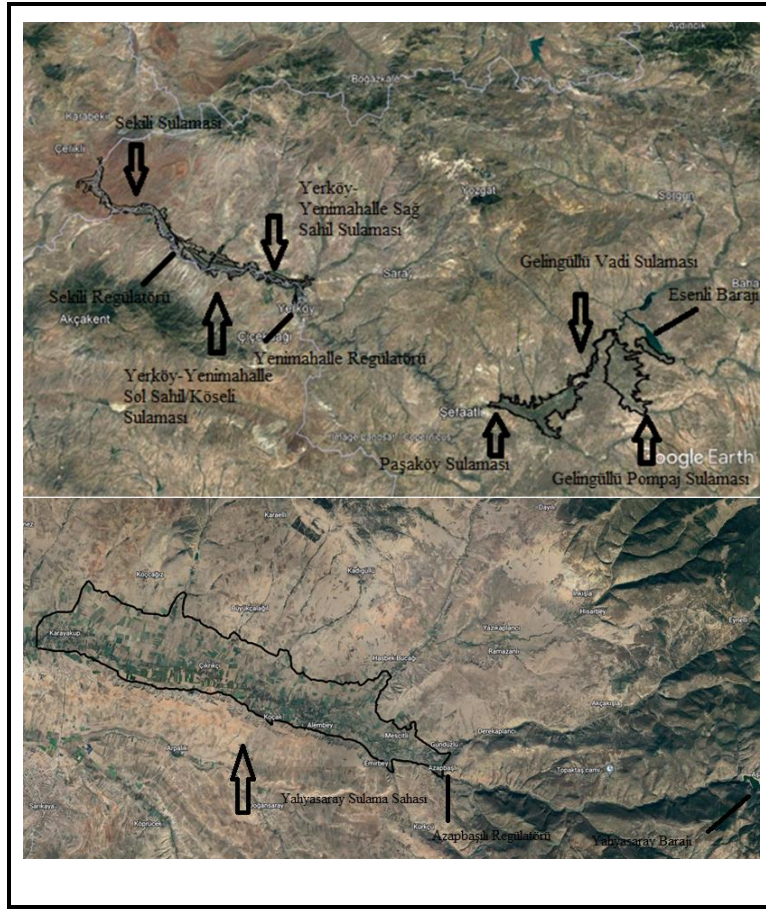
Ülkemizde sulama şebekeleri işletmecilik yönünden incelendiğinde karşılaşılan sorunlar; su dağıtımında yaygın olarak görülen eşitsizlikler, sulama suyu yönetimindeki yetersizlikler sonucunda sulama projelerinden beklenen faydaların sağlanamaması, çiftçilerin yetersiz hizmet alması ve bunun sonucunda işletme masraflarını geri ödemede daha isteksiz olmaları ve bakım-onarımın çeşitli nedenlerle geciktirilmesi ile yapılan yatırımların hızlı bir şekilde tahribata uğraması sayılabilir. Bu koşullarda, su kaynakları yönetiminin geliştirilmesi, tarım ve sulama kuruluşları arasında daha iyi işbirliği, eğitimler, daha geniş kaynak tahsisi ile sulama işletmeciliği, daha yüksek su ücreti ve çiftçi katılımı çoğunlukla önerilen su yönetimi çözümleri olarak öne çıkmaktadır [2].

Bu olumsuzluklar sonucunda sulama projelerinden beklenen faydanın sağlanabilmesi için, sulama birliklerinin performansının değerlendirilmesi ve çıkan sonuçlara göre eksikliklerin belirlenip sorunların çözülmesi ve sistemin kendi içinde ve diğer sistemlerle karşılaştırılması istenen faydanın daha iyiye gitmesi hedeflenmektedir [3]. Sulama birliklerinin yürüttükleri faaliyetlerin değerlendirilmesinde hizmet alan su kullanıcıları ile yapılan anket çalışmalarına da gereksinim duyulmaktadır. Ülkemizde bu amaçla farklı bölgelerde yapılmış çalışmalar vardır [4-9]. Son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında, Cihan [7] Konya ili Çumra ilçesinde faaliyet gösteren Ova Sulama Birliği su kullanıcılarıyla yaptığı anket çalışmasında, büyük çoğunluğun sulama suyu ücretini yüksek bulduklarını, çiftçilerin sulama konusunda eğitim ihtiyacı duyduklarını ve damla sulama yöntemini henüz benimsemediklerini bildirmiştir. Benzer bir çalışmada, Sesveren ve Karakaya [8] Narlı Ovası Kartalkaya Sol Sahil Sulama Birliği sahasındaki çiftçilerle yaptıkları anket çalışmasında, genelde tarımsal sulama problemi olarak sulama altyapısının yetersizliğini belirlemişlerdir. Ersöz ve Çamoğlu [9] tarafından Bursa ilinde faaliyet gösteren on adet sulama birliği su kullanıcılarıyla yapılan diğer bir anket çalışmasında ise sulama ücretlerinin yüksek olması, kanal sonlarında bulunan üreticilerin suya ulaşmakta sorun yaşamaları ve drenaj yetersizliği öne çıkan sulama sorunları olmuşlardır. Fakat Yozgat bölgesinde bulunan sulama birliklerinin faaliyetlerinin değerlendirildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada; Kızılırmak Havzası Yozgat İli içerisinde yer alan altı adet sulama birliğinin (Yahyasaray, Paşaköy, Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil, Yerköy-Yenimahalle Sol sahil/Köseli, Sekili ve Esenli) faaliyetleri su kullanıcılarına yapılan anket çalışmasıyla değerlendirilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

Çalışmada materyal olarak; Kızılırmak havzasındaki Yahyasaray, Paşaköy, Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil, Yerköy-Yenimahalle Sol Sahil-Köseli, Sekili ve Esenli sulama birlikleri sulama sahaslarında tarımsal üretim yapan çiftçilerle yapılan anket soruları kullanılmıştır. Birliklerin faaliyet gösterdikleri sulama sahasları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Yozgat İli büyük bir kesimi İç Anadolu Bölgesi'nin Orta Kızılırmak bölümünde, küçük bir kesimi Orta Karadeniz'in Yeşilirmak Havzası'nın Çekerek Irmağı çevresinde yer almaktadır. İl konum olarak, 34°02'-36°09'doğu boylamları ile 38°54'-40°15' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır.



Şekil 1. Uydü görüntüleri üzerinde birliklerin sulama sahaları

Sulama birlikleri hakkında genel bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Yahyasaray Sulaması proje sahası Delice Irmağı’nın kolu olan Kanak Çayı üzerinde Yozgat-Sarıkaya Yahyasaray Köyünün 1.5 km batısındadır. Yahyasaray Sulamasının su kaynağı Yahyasaray Barajı’dır. Barajın sağ sahil ana kanal uzunluğu 27 625 m, sol sahil ana kanal uzunluğu 19 475 m, yedek kanal uzunluğu ise 22 260 m’dir. Drenaj kanal uzunluğu ise toplam 36 045 m’dir. İsale ve ana kanalların 62.1 km’si, yedek kanalların 22.2 km’si ve tersiyer kanalların 34.4 km’si kaplamalıdır. Birlik kurucu üyeleri Yozgat İli Sarıkaya ilçesine bağlı Karayakup Belediyesi, Koçak, Büyükcalağlı, Alembey, Azapbaşı, Çıkrıkçı, Gündüzlü, Hasbek, Emirbey ve Mescitli köyleri tüzel kişilikleridir. Paşaköy Sulaması proje sahası Delice Irmağı’nın bir kolu olan Kanak Çayı vadisindedir. Paşaköy Sulamasının su kaynağı Gelingüllü Barajı’dır. Barajın iletim kanalı uzunluğu 7 700 m, sağ sahil ana kanal uzunluğu 42 150 m, sol sahil ana kanal uzunluğu 35 855 m ve yedek kanal uzunluğu 48 666 m’dir. Drenaj ana kanal toplam uzunluğu ise 41 687 m’dir. İsale ve ana kanalların 85.7 km’si, yedek kanalların 48.6 km’si ve tersiyer kanalların 6.8 km’si kaplamalıdır. Birlik kurucu üyeleri Yozgat ili Şefaattli ilçesine bağlı Paşaköy Belediyesi, Kızılyar, Halaçlı, Saçlı, İbrahim Hacılı ve Koç köyleri tüzel kişilikleridir. Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil-Sol Sahil/Köseli sulama birliklerine bağlı Yerköy Grubu Yenimahalle Sulaması proje sahası Yozgat ili Yerköy ilçesi sınırları içerisinde Delice Irmak vadisindedir. Yerköy – Yenimahalle sulamasının ana kaynağı Gelingüllü Barajı’dır. Yerköy Grubu Yenimahalle sulamasının su alma yapısı Yenimahalle regülatörü olmakta sağ sahil ana kanal uzunluğu 42 000 m, sol sahil ana kanal uzunluğu 38 580 m, yedek kanal uzunluğu 36 080 m ve tersiyer kanal uzunluğu ise 35 525 m’dir. İsale ve ana kanalların 91.7 km’si kaplamalı, 6.3 km’si boruludur. Yedek kanalların 67.2 km’si ve tersiyer kanalların 72.1 km’si boruludur. Birliklerin kurucu üyeleri Yozgat ili Yerköy ilçesine bağlı Yerköy Belediyesi ile Kumluca, Arifoğlu, Buruncuk, Akpınar ve Aşağı Elmahacılı köyleri tüzel kişilikleridir. Sekili Sulama Birliği’ne bağlı Yerköy Grubu Aşağı Sekili Sulaması proje sahası Yozgat-Kırşehir ili Yerköy-Çiçekdağı ilçeleri sınırları içerisinde Delice Irmak vadisindedir. Sekili sulamasının ana kaynağı Gelingüllü Barajı’dır. Yerköy Grubu Aşağı Sekili sulamasının su alma yapısı Aşağı Sekili regülatörü olup sağ sahil ana kanal uzunluğu 42 040 m, yedek kanal uzunluğu 14 107 m ve tersiyer kanal uzunluğu 24 355 m’dir. İsale ve ana kanalların 69.7 km’si kaplamalıdır. Yedek kanalların 50

km'si ve tersiyer kanalların 35.1 km'si boruludur. Birlik kurucu üyeleri Yozgat İli Yerköy ilçesine bağlı Sekili Belediyesi, Aslanhacılı, Terzili, Derebağ köyleri ile Kırşehir ili Çiçekdağı ilçesine bağlı Acıköy, Gölcük, Konurkale, Kızılcalı köyleri tüzel kişilikleridir. Esenli sulama birliği, Gelingüllü Pompaj ve Vadi Sulaması proje sahasında faaliyet göstermekte ve bölge Yozgat ilinin 50 km güneyindedir. Gelingüllü Pompaj ve Vadi sulamasının ana kaynağı Gelingüllü Barajı'dır. Ana kanal uzunluğu 61 512 m, yedek kanal uzunluğu 5 980 m, borulu şebeke uzunluğu 92 910 m, ana ve yedek tahliye uzunluğu 50 000 m, pompaj yüksekliği ise 65 m'dir. Vadi sulamasının sağ sahil uzunluğu (toprak) 5 500 m, sol sahil uzunluğu (toprak) ise 5 000 m'dir. Gelingüllü sulamasının 100 ha'lık alanı cazibe ile 3 196 ha'lık alanı ise pompaj sulaması ile sulanmaktadır. İsale ve ana kanalların 28.0 km'si, yedek kanalların 63.4 km'si ve tersiyer kanalların 63.3 km'si boruludur. Kurucu üyeleri Yozgat Merkez Esenli Kasabacı, Sarınnören, Battal ve Özlüce belde ve köy tüzel kişilikleridir [10].

Tablo 1. Sulama birlikleri hakkında genel bilgiler

Sulama birlikleri	Kuruluş yılı	Devir tarihi	Net sulama alanı (ha)	Su kaynağı	Su sağlama biçimi
Yahyasaray	1995	24.05.1995	3 436	Yahyasaray Barajı	Cazibe
Paşaköy	1997	03.12.1997	4 072	Gelingüllü Barajı	Cazibe
Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil	1997	03.12.1997	3 644	Gelingüllü Barajı	Cazibe
Yerköy-Yenimahalle Sol Sahil/Köseli	1997	09.07.1999	1 269	Gelingüllü Barajı	Cazibe
Sekili	2000	17.08.2000	2 644	Gelingüllü Barajı	Cazibe
Esenli	2002	12.07.2004	3 296	Gelingüllü Barajı	Cazibe+Pompaj

Araştırma alanında çiftçilerin sulama memnuniyet durumunu değerlendirmek, sulamada karşılaştıkları sorunların ne olduğu ile ilgili bilgi toplayabilmek amacıyla önceki bir çalışmada kullanılan örnek anket soruları derlenerek 2014-2015 yıllarında bir anket çalışması yapılmıştır [5].

Adı geçen sulama birliklerindeki su kullanıcıları çalışmanın popülasyonunu oluşturmuştur. Yozgat İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden sulama birliğine kayıtlı çiftçilerin tarımsal işletme büyüklükleri alınmıştır. Popülasyonun homojen alt gruplara ayrılması tabakalama, örneğin bu alt gruplara göre belirlenmesi ise tabakalı örnekleme yöntemini oluşturmaktadır. Popülasyonu tabakalara ayırarak varyansın küçültülmesi ve tahminlerin duyarlılığının artırılması sağlanır. Bu sebeple işletmeler arasındaki varyasyonun belirlenmesinde varyasyon katsayısı (CV) kullanılmıştır [11]. Bu çalışmada CV; Yahyasaray Sulama Birliği için %70, Paşaköy Sulama Birliği için %84.3, Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil Sulama Birliği için %73, Yerköy-Yenimahalle Sol Sahil/Köseli Sulama Birliği için %75, Sekili Sulama Birliği için %84.3 ve Esenli Sulama Birliği için %91 olarak bulunmuştur. Varyasyon katsayıları yüksek olduğundan, sulama birliklerinde ankete katılacak çiftçi sayılarının belirlenmesinde, tesadüfi örnekleme yöntemlerinden tabakalı örnekleme yöntemi kullanılmasına karar verilmiştir. Tabakalı örnekleme ana kitleyi kendi içinde homojen tabakalara ayırıp varyansı azaltmayı ilke edinmiştir. Bu sayede örnekleminin sağlık derecesi bozulmadan daha az örnekle çalışmanın olası olduğu belirtilmektedir. Tabakalı örneklemeyle, popülasyona ait tahminlerin doğruluğunu arttırmak ve popülasyonda ki farklı bölümlerin yeterince temsil edilmesini sağlamak mümkün olmuştur [12].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. Çiftçi ve Anket Bilgileri

Sulama birliklerine kayıtlı çiftçi sayıları ve ankete katılan çiftçi sayıları Tablo 2'de gösterilmiştir. Toplam çiftçi popülasyonu ve anket yapılan örneklem sayısı sırasıyla 2 070 ve 426 olmuştur.

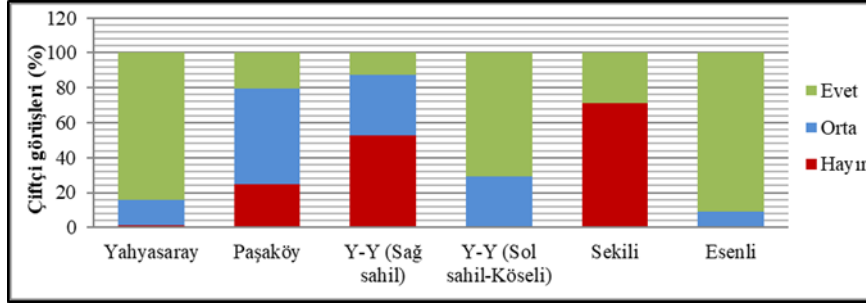
Tablo 2. Sulama birliklerindeki çiftçi popülasyonu ve anket yapılan örneklem sayıları

Sulama birlikleri	Çiftçi popülasyonu	Ankete katılan çiftçi sayısı
Yahyasaray	323	77
Paşaköy	321	64
Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil	419	80
Yerköy-Yenimahalle Sol Sahil-Köseli	235	58
Sekili	552	93
Esenli	220	54
Toplam	2 070	426

B. Çiftçilerin Sulama Zamanı Hakkındaki Görüşleri

Sulama koşullarından memnuniyet durumunun değerlendirilmesi amacıyla çiftçilere yöneltilen anket çalışmasında "sulama zamanı iyi mi" sorusunu; Yahyasaray sulama sahasındaki çiftçilerin %84.4'ü "Evet", Paşaköy sulama sahasındaki çiftçilerin % 54.7'si "Orta", Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil sulama sahasındaki

çiftçilerin %52.5'i "Hayır", Yerköy-Yenimahalle Sol Sahil-Köseli sulama sahasındaki çiftçilerin %71'i "Evet", Sekili sulama sahasındaki çiftçilerin %71'i "Hayır" ve Esenli sulama sahasındaki çiftçilerin %90.7'si "Evet" şeklinde yanıtlamışlardır (Şekil 2). Cihan [7] Konya-Çumra Ova Sulama Birliği su kullanıcıları ile yaptığı anket çalışmasında suyunu zamanında ve yeterli miktarda alanların oranını %75, alamayanların ve kısmen alabilenlerin oranlarını ise sırasıyla %13 ve %12 olarak belirlemiştir. Ersöz ve Çamoğlu [9] Bursa'da on adet sulama birliği su kullanıcıları ile yaptıkları anket çalışmalarında suyu zamanında ve yeterli miktarda alabiliyor musunuz sorusuna genel olarak ortalama %75 oranında olumlu yanıt verildiğini bildirmişlerdir.



Şekil 2. Sulama zamanının iyi olup olmadığı ile ilgili çiftçi anket görüşleri

Çiftçilerle yapılan görüşmelerde, su kaynağı Gelingüllü Barajı olan özellikle Sekili ve Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil sulama sahaslarının baraja uzak olmaları nedeniyle suyun çok geç verilmekte olduğunu bunun sonucu olarak da sudan yeterince faydalanamamakta olduklarını belirtmişlerdir. Paşaköy sulama sahasındaki çiftçilerle yapılan görüşmelerde ise her yıl belli aralıklarla sulama sezonu içerisinde yapılan bakım-onarım çalışmaları nedeniyle suyu zamanında alamadıklarını ifade etmişlerdir. Özellikle şekerpancarı gibi su istekleri yüksek olan bitkiler için bu durum olumsuzluk yaratabilmektedir.

C. Çiftçilerin Sulama Süresi ve Sulama Sayısı İle İlgili Görüşleri

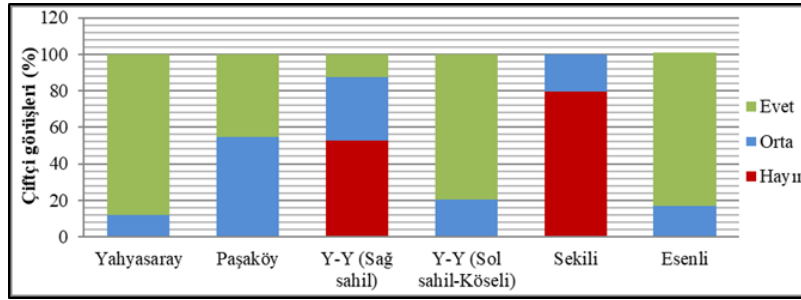
Çiftçilere yöneltilen "sulama süresi ve sulama sayısının yeterli olup olmadığı" hakkındaki sorulara verdikleri cevaplar Yahyasaray sulamasındaki çiftçilerin yanıtları hariç "Sulama zamanı iyi mi" sorusuna verdikleri cevaplarla aynı olmuştur (Şekil 2). Yahyasaray sulama sahasındaki çiftçiler "Sulama süresi ve sulama sayısının yeterli olup olmadığı" hakkındaki sorulara %88.3 oranında "Evet" şeklinde cevap vermişlerdir.

Sekili ve Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil sulama sahaslarındaki çiftçilerin baraja en uzak mesafede yer alan köylerde olmalarının, suyun geç ulaşması ve sulama süresinin yeterli olmaması sonuçlarını doğurduğunu verdikleri cevaplar da desteklemektedir. Özellikle sulamanın hem zamanında yapılamaması hem de yeterli olmamasına karşın, çiftçilerin bu bölgelerde su ihtiyacı yüksek yonca ve şekerpancarı gibi bitkileri yetiştirmeleri, çiftçilerin sulama konularında birlik ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) gibi kuruluşlarla işbirliği halinde olması gerekliliğini düşündürmektedir.

D. Çiftçilerinin Su Miktarı Hakkındaki Görüşleri

Çiftçilere sorulan "su miktarının yeterli olup olmadığı" hakkındaki soruya verilen yanıtlar Şekil 3'te gösterilmiştir. Yahyasaray, Paşaköy, Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil, Yerköy-Yenimahalle Sol Sahil-Köseli, Sekili ve Esenli sulama sahasındaki çiftçilerin verdikleri cevaplar sırasıyla %88.3'ü "Evet", % 54.7'si "Orta", %52.5'i "Hayır", %79.6'sı "Evet", %79.6'sı "Hayır", %84.3'ü "Evet" şeklinde olmuştur. Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil ve Sekili sulama sahaslarındaki çiftçilerin yarım fazlasının su miktarını yeterli bulmamalarına sebep olarak su kaynağından uzak mesafede yer almaları gösterilebilir.

Sesveren ve Karakaya [8] Kartalkaya Sol Sahil Sulama Birliği'ndeki sulama problemlerine yönelik çiftçilere sorulan "Ovadaki sulama ile ilgili genel sorunlar" sorusuna karşılık %14.7 oranında su yetersizliği şeklinde cevap almışlardır. Araştırmacılar, sulama suyunun tüm üretim sezonu boyunca yetersiz olduğunu düşünen çiftçilerin toplamda %29.5'lik bir paya sahip olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 3. Su miktarının yeterli olup olmadığı ile ilgili çiftçi anket görüşleri

E. Çiftçilerin Yapılan Bakım-Onarım Çalışmalarının Zamanı Konusundaki Görüşleri

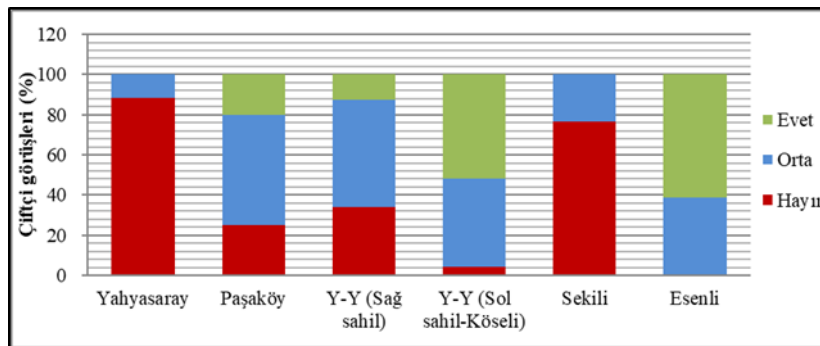
Çiftçilere yöneltilen “bakım-onarımın zamanında yapılıp yapılmadığı” hakkındaki soruya verdikleri yanıtlar Şekil 4’te gösterilmiştir. Yahyasaray sulama sahasındaki çiftçilerin %88.3’ü “Hayır”, Paşaköy sulama sahasındaki çiftçilerin %54.7’si “Orta”, Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil sulama sahasındaki çiftçilerin %53.8’i “Orta”, Yerköy-Yenimahalle Sol Sahil-Köseli sulama sahasındaki çiftçilerin %51.6’sı “Evet”, Sekili sulama sahasındaki çiftçilerin %76.6’sı “Hayır” ve Esenli sulama sahasındaki çiftçilerin %61.1’i “Evet” şeklinde sorulan soruyu yanıtlamışlardır.

Sekili sulama sahasındaki çiftçiler ana kanallarındaki ‘vantöz’ diye isimlendirdikleri vantuzların bozuk olduğunu, bu sebepten dolayı su sızıntılarının yaşandığını dile getirmişlerdir. Ayrıca ana kanallardan gelen sulama suyunu yedek kanallardan alamadıklarını, bu durumun otların temizlenmemesi ve çöplerin birikmesi sonucu tıkanıklık meydana gelmesinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Anket sonuçlarından, bakım-onarım çalışmaları açısından çiftçilerin pek de memnun olmadığı ortaya çıkmıştır. Çiftçiler kanallarda ortaya çıkan bir problemle karşılaştıklarında sulama birliklerinden acil müdahale istemekte, bu durum karşısında birliklerin sulama sahalarına yetişmesi zor olmaktadır. Çiftçilerde henüz sulama birlikleri ile beraber etkili çalışmalarının işleri daha hızlandıracağı bilinci oluşmadığından, iki taraflı sorunlar büyümekte ve bu sorunlar her yıl tekrarlanmaktadır.

Kuşçu [13] Mustafakemalpaşa sulama şebekesinde bakım-onarım çalışmalarına, çiftçilerin katılımını sağlamanın devrin amaçlarından biri olduğunu, ancak çiftçilerin bu bilince ulaşamadıklarını ve hala devlet kurumlarından bir beklenti içerisinde olduklarını belirtmiştir. Yıldız [14] Aşağı Seyhan Ovası’ndaki Sağ Sahil Sulama Birlikleri’nin performanslarını değerlendirdiği çalışmasında, birlik yöneticilerinin yeterli bakım-onarım ödeneklerini ayıramadığını bunun nedenleri arasında da birliğin sulama ücretleri dışında başka bir gelire sahip olmadıkları, toplanılan sulama ücretlerinin bakım-onarım masraflarını karşılamadığını, çiftçilerin gelir düzeyleri düşük olduğundan yüksek sulama ücretleri belirlenemediğini açıklamıştır.

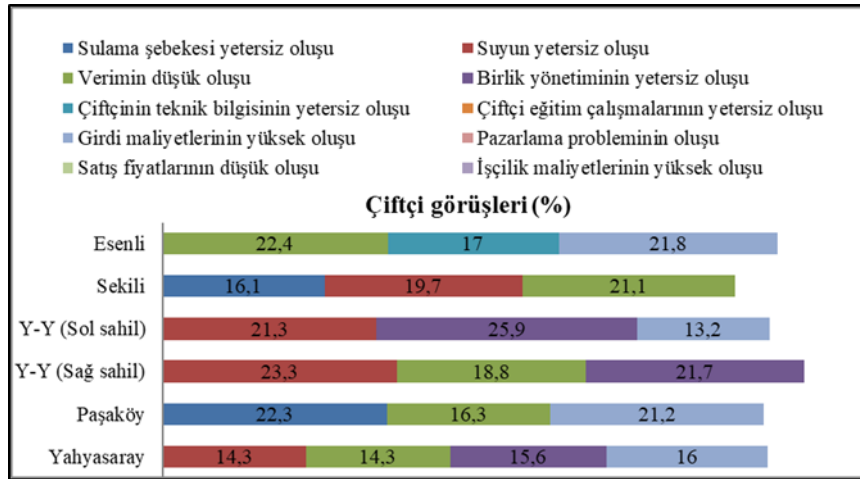
Esenli sulama sahasındaki çiftçilerin yarıdan çoğu bakım-onarım çalışmalarının yapıldığını “Evet” şeklinde onaylamışlardır. Bu sonuç, baraja en yakın köyler arasında olmaları ve birliğin daha kısa sürede müdahale etmesine bağlanılabilir.



Şekil 4. Bakım-onarımın zamanında yapılıp yapılmadığı ile ilgili çiftçi anket görüşleri

F. Çiftçilerin Önemledikleri Üç Durum Hakkındaki Görüşleri

Çiftçilere yöneltilen ve Şekil 5'te verilen sorulara göre “Sizin için önemli üç durum nedir?” sorusu ile ilgili sulama sahasındaki anket görüşleri yine Şekil 5'te gösterilmiştir. Yahyasaray sulama sahasındaki çiftçiler için önemli olan üç ana madde; %16 oranında girdi maliyetlerinin yüksek oluşu, %15.6 oranında birlik yönetiminin yetersiz oluşu, %14.3 oranında suyun yetersiz ve verimin düşük olması yönündedir. Paşaköy sulama sahasındaki çiftçiler için önemli olan üç ana madde; %22.3 oranında sulama şebekesinin yetersiz oluşu, %16.3 oranında verimin düşük oluşu, %21.2 oranında girdi maliyetlerinin yüksek oluşu şeklinde sıralanmıştır. Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil sulama sahasındaki çiftçiler için önemli üç ana madde; %23.3 oranında suyun yetersiz, %18.8 oranında verimin düşük, %21.7 oranında birlik yönetiminin yetersiz oluşu şeklinde yorumlanmıştır. Yerköy-Yenimahalle Sol Sahil-Köseli sulama sahasındaki çiftçiler için önemli üç ana madde; %21.3 oranında suyun yetersiz, %25.9 oranında birlik yönetiminin yetersiz, %13.2 oranında girdi maliyetlerinin yüksek oluşu şeklinde cevaplanmıştır. Sekili sulama sahasındaki çiftçiler için ise; %16.1 oranında sulama şebekesinin yetersiz, %19.7 oranında suyun yetersiz ve %21.1 oranında verimin düşük oluşu şeklinde ifade edilmiştir. Esenli sulama sahası için ise; %22.4 oranında sulama şebekesinin yetersiz, %17 oranında suyun yetersiz ve %21.8 oranında verimin düşük oluşu şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 5. “Sizin için önemli üç durum nedir?” sorusu ile ilgili çiftçi anket görüşleri

G. Çiftçilerin Birlik Yöneticilerinden İstedikleri Hizmetler ve Eğitim Çalışmaları Konularındaki Görüşleri

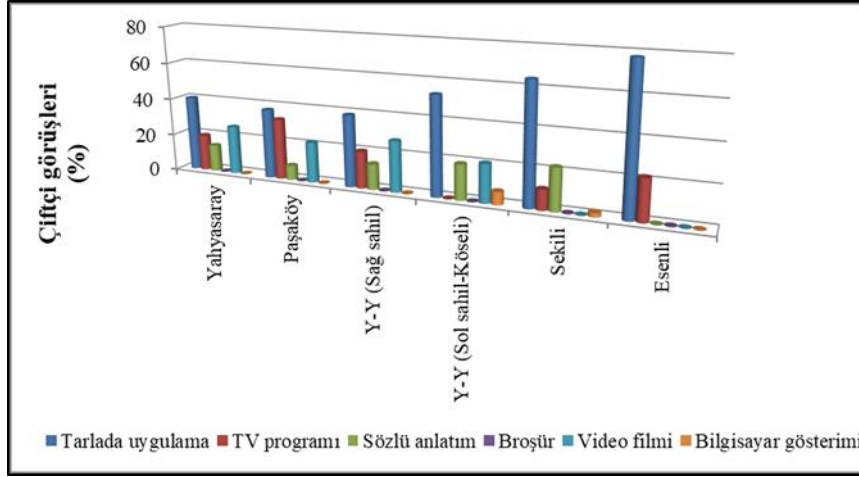
Sulama sahasındaki çiftçilere yönelik sorulan ve serbest olarak yazmaları istenen “Su aldıkları birliğin yöneticilerinden istediğiniz hizmetler nelerdir?” sorusuna karşılık verdikleri cevaplar arasında; genel anlamda suyun adil bir şekilde dağıtımının gerçekleştirilmesi, su ücretlerinin düzenlenmesi, kapalı sulama sistemlerine geçiş yapılması, bakım-onarım çalışmalarının sulama suyunun yoğun olarak kullanıldığı döneme denk getirilmemesi, özellikle baraja uzak olan köylerin sulama suyunu almaları konusunda bir an önce tedbirlerin alınması gerektiği, yedek kanallardaki çöp vb. atıkların ve yabancı otların temizliğinin yapılması yer almıştır.

Sulama sahasındaki çiftçilere “son yıllarda herhangi bir eğitim çalışması yapıp yapılmadığı” sorulduğunda çiftçilerin %100’ü “Hayır” şeklinde cevaplamışlardır. Nalbantoğlu [5] Akıncı Sulama Birliği su kullanıcılarının %94’ünün sulama konusunda son beş yılda herhangi bir eğitim almadıklarını söylediklerini belirtmiştir. Özdoğan [15] Güldürcek Sulamasında son beş yıl için çiftçilerin %97’sinin sulama eğitimi almadıklarını ifade ettiklerini bildirmiştir. Cihan [7] Konya-Çumra Ova Sulama Birliği’nde çiftçilere yönelik yaptığı anket çalışmasında “Su yönetimi konusunda herhangi eğitim/yayın çalışması yapıldı mı?” sorusuna çiftçilerin %28’inin “Evet”, %46’sının “Hayır” ve %26’sının “Kısmen” şeklinde cevapladıklarını belirtmiştir.

H. Çiftçilerin Hangi Türde Bir Eğitim Çalışması İstedikleri Konusundaki Görüşleri

Sulama sahasındaki çiftçilere, sulama ile ilgili eğitim çalışmasına katılmak istedikleri durumda “hangi türde bir eğitim çalışması istedikleri” sorulduğunda (Şekil 6); çiftçilerin %37.5 ile %77.8 arasında çoğunluğu “Tarlada uygulama” istediklerini belirtmişlerdir. “TV programı” %10.8 ile % 32.8 arasında iken, “Video filmi” %20.7 ile %27.50 arasında olmuştur. Sulama birliklerindeki çiftçilerin %7.8 ile %22.6’sı “Sözlü anlatımı”

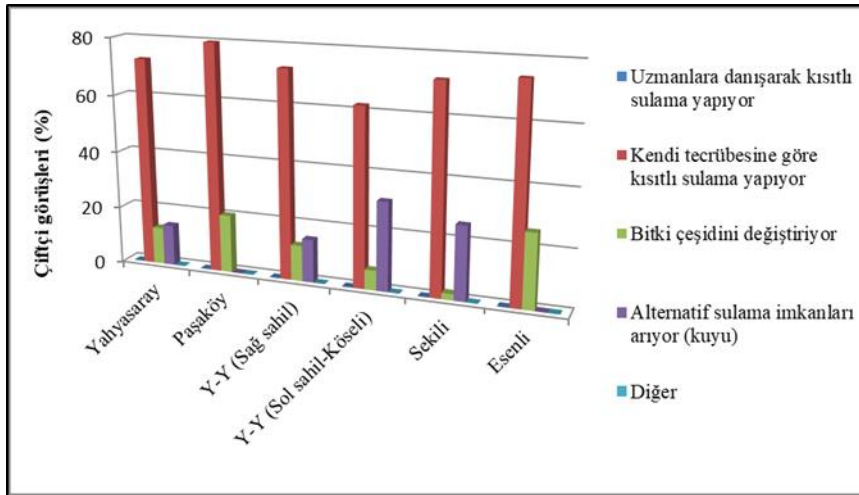
tercih etmişlerdir. “Tarlada uygulama” türünde bir eğitim çalışması tercihi, tüm sulama birlikleri sulama sahaslarındaki çiftçiler için ilk sırada yer almış ve Esenli sulama sahasındaki çiftçiler için en yüksek orana ulaşmıştır. Özdoğan [15] Güldürcek Sulamasında tüm su kullanıcılarının sulama konusunda yapılacak bir eğitim çalışmasına katılmak istediklerini ve %69’unun tarlada uygulama türünde bir eğitim tercih ettiklerini bildirmiştir.



Şekil 6. “Hangi türde bir eğitim çalışması olmasını isterdiniz?” sorusu ile ilgili görüşler

I. Çiftçilerin Suyun Yetersiz Olduğu Durumlarda Aldıkları Önlemler

Sulama sahasındaki çiftçilere yöneltilen “Sulama suyunun yetersiz olduğu durumlarda hangi türde bir önlem alıyorsunuz?” sorusuna karşılık verdikleri cevaplar Şekil 7’de gösterilmiştir. Sulama sahaslarındaki çiftçilerin ortalama %72.2’si “Kendi tecrübesine göre kısıtlı sulama yaptığını”, ortalama %14.4’ü “Alternatif sulama imkanları aradığını” ve ortalama 13.5’i “Bitki çeşidini değiştirdiğini” ifade etmişlerdir. Nalbantoğlu [5] Akıncı Sulama Birliğine kayıtlı çiftçilerle yaptığı anket çalışmasında, sulama suyu yetersiz olduğunda izledikleri yolun ne olduğu konusundaki soruya %65 oranında kendi tecrübelerine göre kısıtlı sulama yaptıkları şeklinde yanıt almıştır.

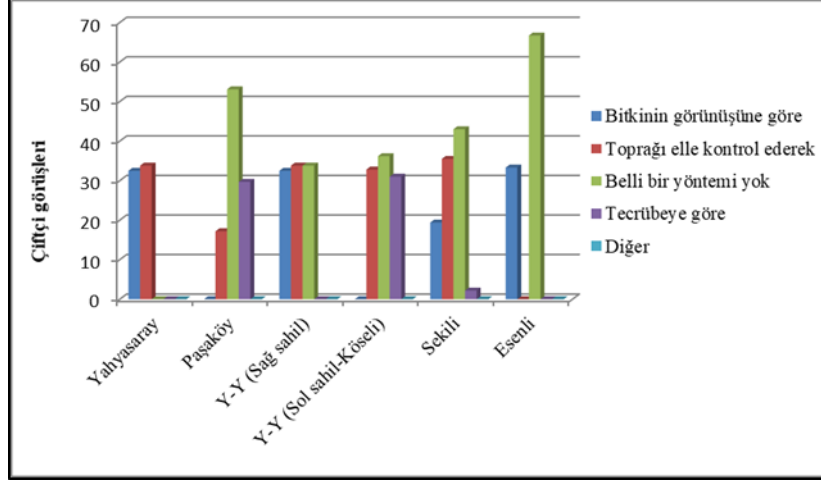


Şekil 7. “Sulama suyunun yetersiz olduğu durumlarda hangi türde bir önlem alıyorsunuz?” sorusu ile ilgili anket görüşleri

J. Çiftçilerin Sulama Zamanına Nasıl Karar Verdikleri İle İlgili Görüşleri

Çiftçiye yöneltilen “Sulama zamanına nasıl karar veriyorsunuz?” sorusuna karşılık verilen cevaplar Şekil 8’de gösterilmiştir. Sulama sahası içindeki çiftçilerin yüzde oranlarının ortalamaları alındığında, %19.6’sı “Bitkinin görünüşüne göre”, %25.5’i “Toprağı elle kontrol ederek”, %46.5’i “Belli bir yöntemi yok”, %10.5’i “Tecrübeye göre” sulama zamanına karar verdiklerini belirtmişlerdir. Şekil 8 incelendiğinde, Esenli ve Paşaköy sulama birlikleri sulama sahaslarında yer alan çiftçilerin, sulama zamanına nasıl karar veriyorsunuz sorusuna diğer

çiftçilere göre çok daha yüksek oranlarda “Belli bir yöntemi yok” şeklinde cevap verdikleri görülmektedir. Cihan [7] Konya-Çumra Ova Sulama Birliği su kullanıcılarının büyük oranda (%84) tecrübeye dayalı olarak bitkinin görünüşüne göre sulama zamanına karar verdiklerini bildirmiştir.



Şekil 8. “Sulama zamanına nasıl karar veriyorsunuz?” sorusu ile ilgili anket görüşleri

IV. SONUÇLAR

Çiftçilerle yapılan görüşmelerde, özellikle Sekili ve Yerköy-Yenimahalle Sağ Sahil sulama sahaları baraja en uzak mesafede olduğu için suyun çok geç verilmekte olduğunu ve sulama süresinin yeterli olmaması sonuçlarını doğurduğunu, bunun sonucu olarak da sudan yeterince faydalanamamakta olduklarını belirtmişlerdir. Sulama suyunun gece kullanılması, özellikle baraja en uzak mesafede yer alan çiftçiler için büyük bir avantajdır. Özellikle suyun geceye göre gündüz daha fazla buharlaştığı düşünülürse, gece sulamalarının önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Sulama tesisinin sonlarındaki çiftçilerin sulamadan eşit fayda sağlayabilmesi için su kullanımında öncelik sağlanması ve su dağıtım planlamasına gece sulamasının dahil edilmesi önerilebilir.

Anket sonuçlarından, Gelingüllü Barajı'na en yakın Esenli sulama sahasındaki çiftçilerin %61.1'inin bakım-onarım çalışmalarının zamanında yapıldığını onayladığı, diğer birliklere bağlı çiftçilerin pek de memnun olmadığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca çiftçilerde henüz sulama birlikleri ile beraber etkili çalışmalarının işleri daha hızlandıracağı bilinci oluşmadığından, iki taraflı sorunlar büyümekte ve bu sorunlar her yıl tekrarlanmaktadır. Bakım-onarım çalışmalarının aksamaması için birlikler arasında personel, araç, iş makinası ve malzeme bakımından farklılıklar varsa, etkin bir organizasyon yapılması gerekmektedir.

Sulama sahasındaki çiftçilerin tamamı son yıllarda sulama konusunda herhangi bir eğitim almadıklarını belirtmişlerdir. Diğer taraftan çiftçilerin bir kısmının sulama birliği yetkililerine haber vermeden sulama yapmış oldukları belirtilmiş ve çiftçilerin büyük çoğunluğu da bu durumdan mağdur olduklarını belirtmişlerdir. Sulama suyunun yetersiz olduğu durumlarda çalışmada ele alınan sulama birlikleri su kullanıcılarının büyük çoğunluğu (%72.2) kendi tecrübelerine göre kısıntılı sulama yaptıklarını bildirmişlerdir. Sulama zamanına karar verirken, sulama sahasındaki çiftçilerin yüzde oranlarının ortalamaları alındığında yarısına yakını (%46.5) belirli bir yöntem kullanmadıklarını belirtmişlerdir. Bu sonuçlara bağlı olarak sulama birliklerinin çiftçilerin sulama konusunda bilinçlenmelerini sağlayacak eğitim çalışmalarına yer vermesi gerekmektedir. Ayrıca Esenli sulamasının bir bölümü dışında sulama tesisleri açık kanallardan oluşmakta ve kapalı borulu sisteme geçiş büyük önem taşımaktadır. Eğitimlerde suyu etkin kullanan basınçlı sulama yöntemleri ve işletilmeleri ile kısıntılı sulama konularına sıkça yer verilmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma için gerekli bilgi ve verileri sağlayan Devlet Su İşleri (DSİ) 12. Bölge Müdürlüğü Kayseri, Yozgat İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Yozgat Sulama Birlikleri çalışanlarına teşekkür ederiz. Bu makale, Gülşah Şengönül Aslan'ın Yüksek Lisans tez çalışmasının bir bölümüdür.

KAYNAKLAR

- [1] Özçelik, A., Tanrıvermiş, H., Gündoğmuş, E., & Turan, A. (1999). *Türkiye’de Sulama İşletmeciliğinin Geliştirilmesi Yönünden Şebekelerin Birlik ve Kooperatifleşme Devri ile Su Fiyatlandırma Yöntemlerinin İyileştirilmesi Olanakları*. Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü Yayın No: 32, Ankara.
- [2] Süheri, S. (2004). *Konya ovasında sulama örgütlerinin işletmecilik yönünden karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [3] Değirmenci, H. (2004). Kahramanmaraş Bölgesinde Bazı Sulama Şebekelerinin Karşılaştırma Göstergeleri İle Değerlendirilmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 104-110.
- [4] Beyribey, M., Erdoğan, C., Çakmak, B., & Aküzüm, T. (1997). Katılımcı sulama yönetimi ve sulama birliklerinde sistem performansını değerlendirilmesi. *6. Ulusal Kültürteknik Kongresi*.5-8 Haziran, Bursa, 162.
- [5] Nalbantoğlu, G. (2006). *Akıncı Sulama Birliğinde Sulama Performansının Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6] Demir, N. (2008). *Diyarbakır Devegeçidi sulama şebekesinde sulama sorunları*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [7] Cihan, İ. (2017). *Konya-Çumra Ova Sulama Birliğinin işletmecilik yönünden değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [8] Sesveren, S., & Karakaya, F.G. (2019). Kartalkaya Sol Sahil Sulama Birliği Bazı Performans Göstergeleri, Sulama Problemleri ve Çözüm Önerileri. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 76-84.
- [9] Ersöz, Ö.T., & Çamoğlu, G. (2020). Su Kullanıcılarına ve Birlik Çalışanlarına Göre Bursa Sulama Birliklerinin Performansının Değerlendirilmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(1), 213-224.
- [10] DSİ, (2013). *Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) 2014 Planlama Raporları*, Yozgat.
- [11] Çiçek, A., & Erkan, O. (1996). *Tarım Ekonomisinde Araştırma ve Örnekleme Yöntemi*. GOÜ Ziraat Fakültesi Yayın No: 12, Ders Notları Serisi: 6, Tokat.
- [12] Güneş, T., & Arıkan, R. (1988). *Tarım Ekonomisi İstatistiği*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1049, Ders Kitabı: 305, Ankara.
- [13] Kuşçu, H. (2004). *Mustafakemalpaşa sulama projesinde yönetim devir programının değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [14] Yıldız, E. (2010). *Aşağı Seyhan Ovası örneğinde sağ sahil sulama birliklerinin sistem performanslarının değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [15] Özdoğan, K. (2010). *Güldürcek Sulamasında Sulama Performansının Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Araştırma Makalesi - Research Article

İtriyum Katkılı Gadolinyum Oksit Numunelerinin Sentez ve Karakterizasyonu

Synthesis and Characterization of Yttrium Doped Gadolinium Oxide Samples

Tankut Ateş^{1*}, Aydan Aksoğan Korkmaz², Niyazi Bulut³, Serhat Keser⁴, Ömer Kaygılı⁵

Geliş / Received: 30/09/2021

Revize / Revised: 02/02/2022

Kabul / Accepted: 06/02/2022

ÖZ

Bu çalışmada, yaş kimyasal sentez ile üretilen katkısız ve itriyum (Y) katkılı gadolinyum oksit (Gd_2O_3) yapıların karakterizasyonu hakkında detaylı bilgi sunuldu. Numunelerin karakterizasyonu için, X-ışını kırınımı analizi, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi ve taramalı elektron mikroskopi tekniği kullanıldı. Örgü parametresinin, kristal büyüklüğünün ve kristalleşme derecesinin Y miktarıyla değişim gösterdiği gözlemlendi. Numunelerin kristal büyüklükleri, 31,17 nm ile 35,49 nm aralığında hesaplandı. Numunelerin kristalleşme değerleri, % 88,6 ile % 90,2 aralığında bulunmuştur. Gd_2O_3 'ün morfolojisinin Y miktarından etkilendiği belirlendi.

Anahtar Kelimeler- *Gadolinyum Oksit, İtriyum, X-Işını Kırınımı, Kristal Yapı Analizi*

ABSTRACT

In this study, detailed information about the un-doped and yttrium (Y)-doped gadolinium oxide (Gd_2O_3) structures produced by the wet chemical synthesis was presented. For the characterization of the samples, X-ray diffraction analysis, Fourier transform infrared spectroscopy, and scanning electron microscopy technique were used. It was observed that the lattice parameter, crystallite size, and crystallization degree changed with the amount of Y. The crystallite sizes of the samples were calculated in the range of 31.17 nm to 35.49 nm. The crystallization values of the samples were found between 88.6% and 90.2%. It was determined that the morphology of Gd_2O_3 was affected by the amount of Y.

Keywords- *Gadolinium Oxide, Yttrium, X-Ray Diffraction, Crystal Structure Analysis*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: tankut.ates@ozal.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4519-2953>)
Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü, 44210, Malatya, Türkiye

²İletişim: aydan.aksogan@ozal.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-3309-9719>)
Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Hekimhan Meslek Yüksekokulu, Maden Teknolojisi Bölümü, 44210, Malatya, Türkiye

³İletişim: nbulut@firat.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-2863-7700>)
Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

⁴İletişim: serhatkeser@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-9678-1053>)
Fırat Üniversitesi, EOSB Meslek Yüksekokulu, Kimya Teknolojisi Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

⁵İletişim: omerkaygili@yahoo.com (<https://orcid.org/0000-0002-2321-1455>)
Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

I. GİRİŞ

Günümüzde nadir toprak hidroksit/oksit nanomalzemeleri, mükemmel fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle nanoteknoloji alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Nadir toprak elementleri, periyodik tabloda 15 tanesi lantanit grubu ve ek olarak skandiyum ve itriyum olmak üzere 17 element olarak yer almaktadır [1]. Nadir toprak elementleri (NTE); mıknatıs (manyetik rezonans görüntüleme cihazları (MRI), fren sistemleri ve otomobil parçaları, iletişim sistemleri, rulmanlar vb.), katalizör (petrol rafinasyonu, kimyasal prosesler, katalitik dönüştürücüler, mazot katkısı vb.), elektronik cihazlar (lazerler, fiber optikler, sensörler, medikal görüntüleme cihazları vb.), cam (optik camlar, optik termal sensörler, termal aynalar vb.), seramik (kapasitörler, sensörler, renklendiriciler vb.), alaşımlar (NiMH piller, çelik, dökme demir, süper alaşımlar vb.) ve diğer (su arıtma, floresan lambalar, pigmentler, gübre, tıbbi izleme, kaplamalar) alanlarda kullanılmaktadır [1-3].

Gadolinium (Gd) genellikle gümüşü-beyaz renkli bir nadir toprak elementi ve lantanit elementi olarak bilinmektedir. f seviyesindeki 7 eşleşmemiş elektronu nedeniyle paramanyetik özelliklere sahiptir. Ayrıca, yüksek termal nötron yakalama tesir kesiti ve mükemmel kimyasal kararlılık göstermektedir. Gd, X-ışınları ve diğer radyasyon türleriyle etkileşime izin veren yüksek atom numarası sayesinde, etkili bir radyosensitize edici bir ajandır [4]. Gd, sıcaklığa bağlı olarak kübik (oda sıcaklığında) ve monoklinik (1250 °C'nin üzerinde) olmak üzere iki farklı kristal yapıda bulunmaktadır [3].

Gd₂O₃, yüksek termal direnci ve yüksek yüzey alkalinitesi nedeniyle oksidasyon reaksiyonlarında katalizör olarak kullanılmasının yanında genellikle destek yapısı veya katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır. Destek olarak kullanılacak gadolinium oksidin yüksek yüzey alanına ve yüksek kristalleşmeye sahip olması önemlidir [5]. Gd₂O₃, Gd izotoplarının yüksek nötron yakalama tesir kesiti nedeniyle en düzenli olarak kullanılan yanabilir absorplayicilerden biridir [6]. Yüksek kırılma indeksine sahip olmasından dolayı optik madde olarak da kullanımı yaygındır. Yüksek göreceli geçirgenliği, yüksek direnci ve geniş bant aralığı Gd₂O₃'i ileri teknolojik uygulamalar için ilgi çekici kılmaktadır. Ek olarak, katkılı Gd₂O₃'lerin iyonik ve elektronik iletkenliği, onu yüksek sıcaklık uygulamaları için uygun bir malzeme haline getirmektedir [7].

Gd₂O₃ parçacıkların sentezlenmesinde poliöl, hidrotermal, sol-jel, mekanokimyasal, kimyasal çöktürme, darbeli lazer ablasyonu ve darbeli elektron ışını buharlaştırması gibi birçok yöntem kullanılmaktadır [4, 5, 8-11].

Kimyasal çöktürme yöntemi, malzeme sentezi için kullanılan en yaygın araştırma tekniklerinden biridir [12]. Kimyasal çöktürme; sıvıda kimyasal sentez ve katı halde ısıl işlem olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Kimyasal sentez nanomalzemelerin kimyasal bileşimlerini, katı halde ısıl işlem ise kristal yapılarını ve morfolojilerini etkilemektedir [13].

Literatürde evropiyum (Eu⁺³) [14,15], erbiyum (Er⁺³) ve iterbiyum (Yb⁺³) [16-21], kadmiyum oksit (CdO) [22], lityum oksit (Li₂O) ve potasyum oksit (K₂O) [23], cam boratlar (B₂O₃-CaO-Na₂O-SrO-P₂O₅) [24] gibi çeşitli katkı maddeleriyle sentezlenen Gd₂O₃ ile ilgili çalışmalar mevcuttur.

İtriyum katkılı baryum serat[25-27], kadmiyum oksit [28], kobalt-çinko ferrit [29] ve baryum zirkonat[30-36] ile ilgili pek çok çalışma mevcutken, itriyum (Y) katkılı gadolinium oksit senteziyle ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, yaş kimyasal yöntemle itriyum (Y) katkılı Gd₂O₃ nanomalzeme sentezi gerçekleştirilmiş olup, üretilen numunelerin karakterizasyonu taramalı elektron mikroskopisi (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) analizi ve Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

Çözücü olarak saf su kullanılmak suretiyle, beş farklı balon jöje içerisinde (6-x) mmol gadolinium (III) nitrat heksahidrat (Gd(NO₃)₃·6H₂O) ve xmmol itriyum (III) nitrat heksahidrat (Y(NO₃)₃·6H₂O) çözeltileri hazırlandı. Burada x değerleri sırasıyla 0, 0,03, 0,06, 0,12 ve 0,24 şeklindedir. Hazırlanan her bir çözeltinin toplam hacmi 50 mL olup, çözücü olarak saf su kullanıldı. Her bir çözelti farklı bir beher içerisine döküldü ve çözeltiler manyetik karıştırıcıda 50 °C'de 2 saat karıştırıldı ve sonrasında bir etüv içerisine konulup, 140 °C'de 15 saat kurutuldu. Son olarak, kurutulmuş numuneler porselen krozelere boşaltıldı ve bir kül fırınında 1000 °C'de 1,5 saat ısıl işleme tabi tutularak katkısız ve Y katkılı Gd₂O₃ numuneleri elde edildi.

Numunelerin karakterizasyonu için; X-ışını kırınımı (XRD) analizinde Bruker D8 Advance model difraktometre, Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) analizinde Perkin Elmer SpectrumOne model spektrofotometre ve morfolojik incelemelerde LEO EVO 40xVP taramalı elektron mikroskopu kullanıldı.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 1’de verilen XRD desenlerinin tamamının, 12-0797 numaralı JCPDS kartında kübik kristal yapıya sahip Gd₂O₃ için tanımlanan standart desene mükemmel uyum içerisinde olduğu görülmektedir [37,38]. XRD spektrumunda görüldüğü gibi (211), (222), (400), (411), (322), (431), (440), (611), (541), (622), (631) ve (444) kristal düzlemlerine ait pikler sırasıyla 20,02°, 28,60°, 33,16°, 35,18°, 39,04°, 42,62°, 45,98°, 47,56°, 52,16°, 55,05°, 56,44°, 57,84° ve 59,24° konumlarında gözlemlendi. Y katkısıyla beraber yeni bir faz oluşumuna (Y₂O₃ gibi) rastlanmamaktadır. Bununla birlikte, Y katkısıyla XRD deseni üzerindeki piklerin şiddetlerinde belirgin bir biçimde değişiklikler meydana gelmektedir ki bu durum özellikle en yüksek şiddete sahip olan (222), (400), (440) ve (622) piklerinde belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir. Şekil 1 üzerinde (400) ve (440) düzlemlerine ait XRD piklerine ait çizilen çakıştırılmış grafikler yardımıyla bu durumun daha belirgin bir biçimde gözlemlenmesi mümkündür. Gerek pik şiddetlerinde değişimler gerekse pik konumlarında kısmen kaymalar gözlemlenmektedir ki bu durum, Y katkısının Gd₂O₃ yapısı içerisine nüfuz etmesiyle ilişkilendirilebilir.

Ortalama kristal büyüklüğü (*D*) değerlerinin hesaplanmasında Denklem (1)’de verilen Scherrer denklemi kullanılmıştır [39].

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Kübik yapıya ait örgü sabiti olan *a* ve birim hücre hacmi olan *V* sırasıyla Denklem (2) ve Denklem (3) kullanılmak suretiyle hesaplanmıştır.

$$a = \frac{d}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (2)$$

$$V = a^3 \quad (3)$$

Kristalleşme yüzdesi (*X_C*%) aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplandı [40].

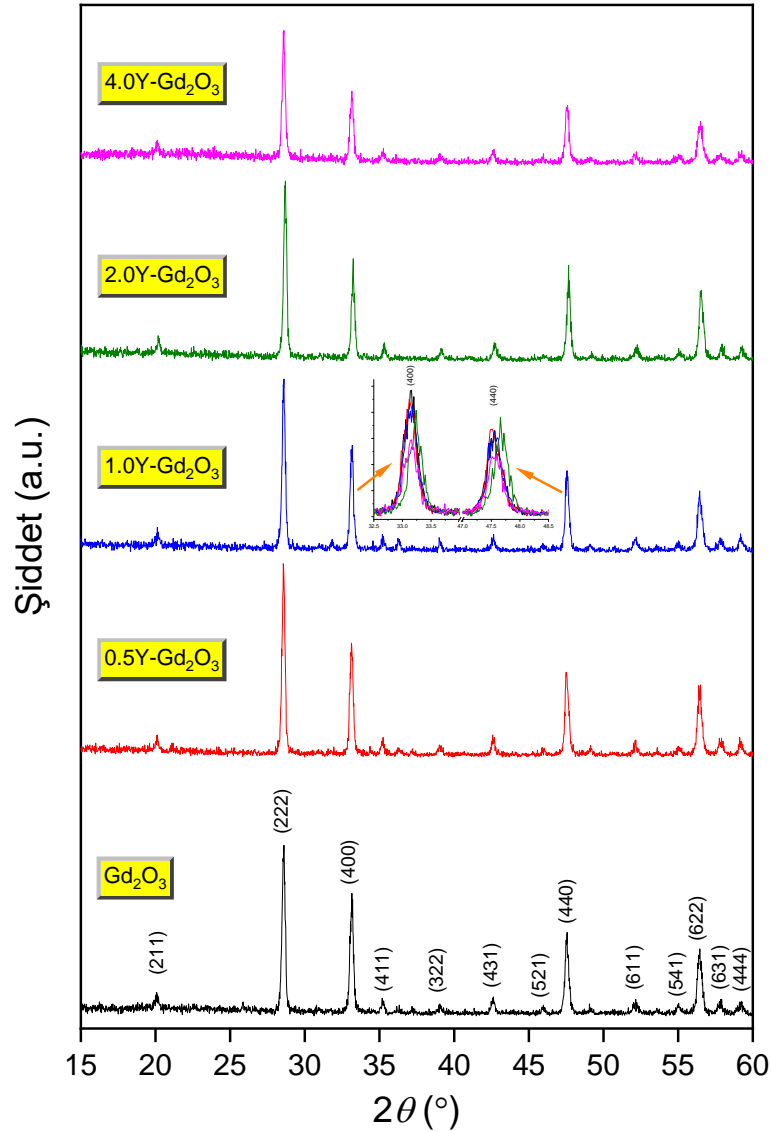
$$X_C\% = \frac{\sum A_C}{\sum A_C + \sum A_A} \times 100 \quad (4)$$

Burada $\sum A_C$ ve $\sum A_A$ sırasıyla kristal pikler altında kalan toplam alan ve amorf pikler altında kalan toplam alana karşılık gelmektedir.

Yukarıdaki bağıntılar ile numunelerin örgü sabiti (*a*), birim hücre hacmi (*V*), kristal büyüklüğü (*D*) ve kristalleşme yüzdesi (*X_C*%) değerleri hesaplandı ve Tablo 1’ de verildi. Y ilavesi ve bu katkının miktarının yukarıda bahsi geçen dört parametre üzerine etkili olduğu görülmektedir. Gözlemlenen bu değişimlerin hiçbirisi kademeli bir artış veya azalış şeklinde değildir. Kristal büyüklüğündeki değişime bakıldığında; tüm Y katkılı numunelerin kristal büyüklüğü katkısız numuneye nazaran daha yüksek bir değere sahiptir. Üretilen numunelerin kristalleşme yüzdeleri ise %88,6 ile %90,2 değerleri arasında olup, tüm numunelerin yüksek kristalleşme oranına sahip oldukları belirlendi.

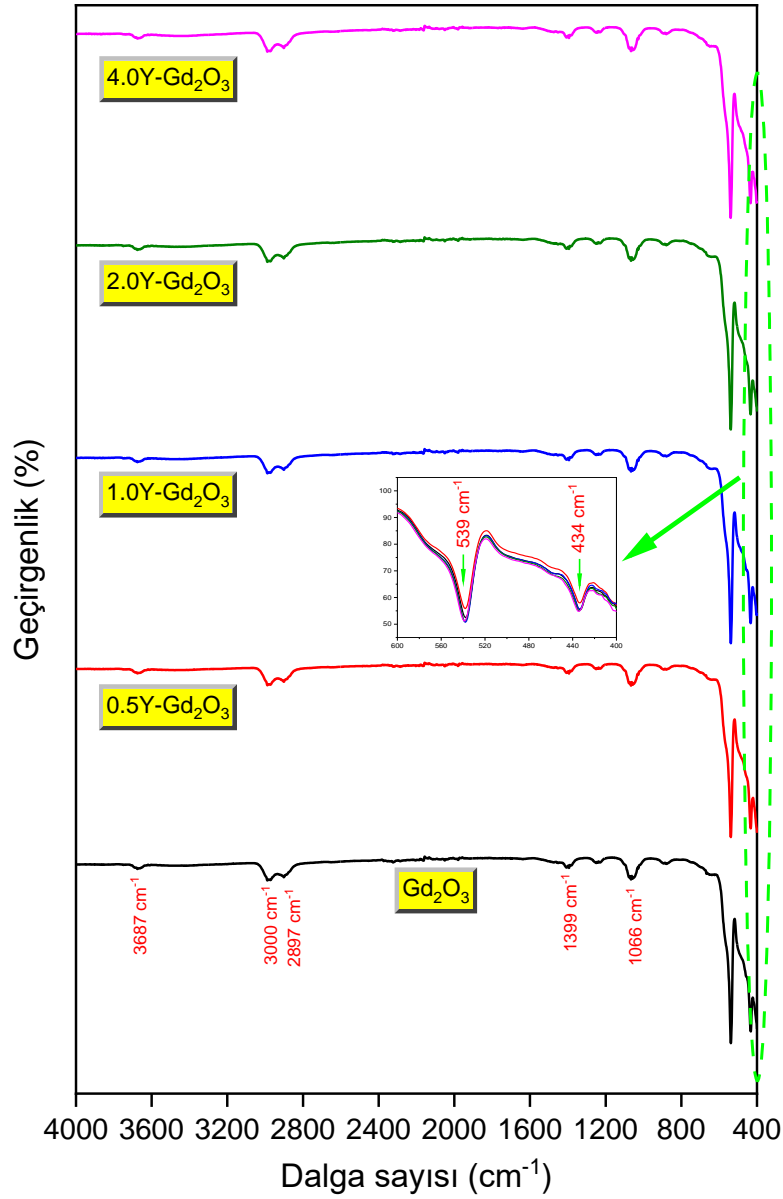
Tablo 1. Her bir numuneye ait örgü sabiti (*a*), birim hücre hacmi (*V*), kristal büyüklüğü (*D*) ve kristalleşme yüzdesi (*X_C*%) değerleri

Numune	<i>a</i> (nm)	<i>V</i> (nm) ³	<i>D</i> (nm)	<i>X_C</i> %
Gd ₂ O ₃	0,10806	0,0012618	31,17	89,0
0.5Y-Gd ₂ O ₃	0,10812	0,0012639	31,77	90,2
1.0Y-Gd ₂ O ₃	0,10807	0,0012622	33,74	88,6
2.0Y-Gd ₂ O ₃	0,10780	0,0012527	33,60	88,8
4.0Y-Gd ₂ O ₃	0,10803	0,0012608	35,49	86,2



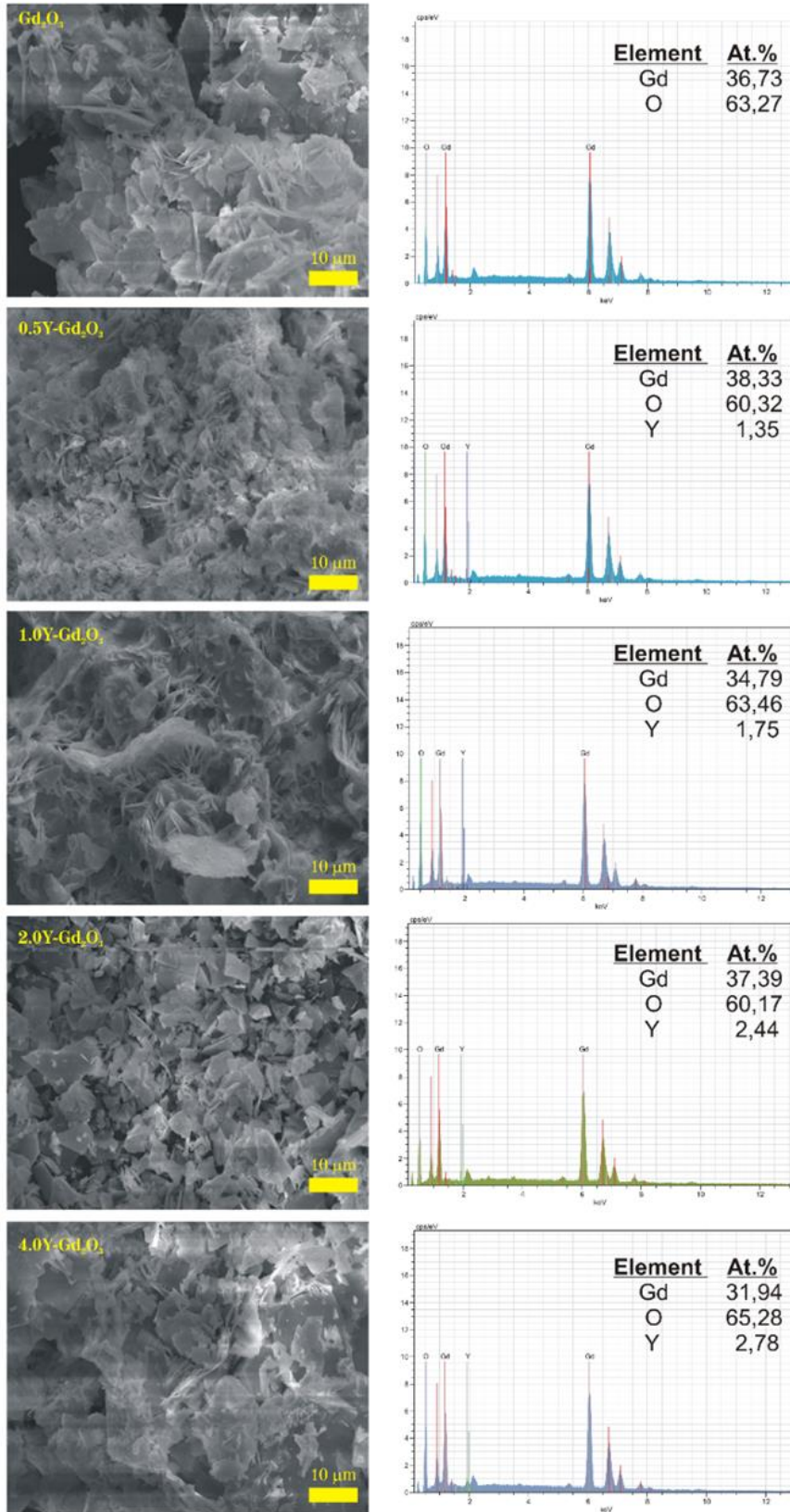
Şekil 1. Katkısız ve Y katkılı Gd_2O_3 numunelerine ait XRD spektrumları

Numunelere ait FTIR analiz sonuçları Şekil 2’de verilmiştir. $434cm^{-1}$ ve $539 cm^{-1}$ ’de tespit edilen bantlar Gd-O bağına ait titreşimlerden kaynaklanmaktadır ve bu bantlar, tüm numunelerde Gd_2O_3 yapısının oluşumunu doğrulamaktadır [41]. $1066 cm^{-1}$ ve $1399 cm^{-1}$ ’de gözlenen bantlar atmosferden numuneye adsorbe olan karbonat grubuna ait C-O bağıyla alakalı titreşimler ile ilişkilendirilebilir [42]. FTIR spektrumunda $2897 cm^{-1}$ ve $3000 cm^{-1}$ ’de tespit edilen bantlar C-H titreşimlerine aittir [43,44]. $3687 cm^{-1}$ ’de gözlenen bant hidroksil grubuyla alakalıdır [45].



Şekil 2. Katkısız ve Y katkılı Gd_2O_3 numunelerine ait FTIR spektrumları

Katkısız ve itriyum katkılı gadolinyum oksit numunelerinin 20 keV ivmelendirme voltajı altında alınan taramalı elektron mikroskobu görüntülemeleri ve enerji dağılımlı X-ışını (EDX) analiz sonuçları Şekil 3'te gösterilmektedir. Y katkılamanın morfoloji üzerine etki ettiği görülmektedir. Numuneler üst üste istiflenmiş plakalardan oluşan morfolojiye sahiptir. EDX sonuçları incelendiğinde; numunelerde Gd, O ve Y (beklendiği üzere katkısız numune hariç) elementlerine ait pikler olduğu ve Y içeriğinin giderek artan değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. SEM analizi öncesi numuneler altın (Au) ile kaplanmıştır. Bu sebeple, doğal olarak Au ile ilgili pik de (2,12 keV'de) gözlenmektedir.



Şekil 3. Üretilen gadolinyum oksit numunelerin SEM analiz sonuçları

IV. SONUÇLAR

Katkısız ve farklı oranlarda Y katkılanmış Gd_2O_3 numuneleri yaş kimyasal yöntem kullanılarak üretildi. Bu çalışmada kullanılan tüm Y katkılarları için herhangi bir ikincil fazın oluşumu gözlenmedi. Y katkısının ve bu katkının miktarının örgü sabiti, birim hücre hacmi, kristal büyüklüğü ve kristalleşme yüzdesi üzerine belirgin biçimde etki ettiği gözlemlendi. Kristal büyüklüğünün 31,17 nm ile 35,49 nm aralığında ve kristalleşme yüzdesinin ise %88,6 ile %90,2 aralığında değerlere sahip olduğu bulundu. Ayrıca, tüm Y katkılı numunelerin kristal büyüklüğü değerlerinin katkısız numuneye kıyasla daha yüksek bir değere sahip olduğu görüldü. Y katkılanmasının morfoloji üzerinde de etkili olduğu gözlemlendi.

KAYNAKLAR

- [1] MTA Genel Müdürlüğü. (2017). *Dünyada ve Türkiye’de Nadir Toprak Elementleri (NTE)*. Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı Ankara. https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/dunyada_ve_turkiyede_nadir_toprak_elementleri.pdf. (19.09.2021).
- [2] Celep, O., Yazıcı, E. Y., & Devci, H. (2021). Nadir toprak elementlerinin birincil ve ikincil kaynaklardan üretimi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 264-280.
- [3] Perevalov, T. V., Dolbak, A. E., Shvets, V. A., Gritsenko, V. A., Asanova, T. I., & Erenburg, S. B. (2014). Atomic and electronic structure of gadolinium oxide. *The European Physical Journal-Applied Physics*, 65(1), 10702.
- [4] Whba, F., Mohamed, F., Rosli, N. R. A. M., Rahman, I. A., & Idris, M. I. (2021). The crystalline structure of gadolinium oxide nanoparticles (Gd_2O_3 -NPs) synthesized at different temperatures via X-ray diffraction (XRD) technique. *Radiation Physics and Chemistry*, 179, 109212.
- [5] Özdemir, H. (2020). Preparation of Gd_2O_3 Nanomaterials via Solution Combustion Synthesis for Oxidative Coupling of Methane. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 21(1), 165-172.
- [6] Bolukbasi, M. J., Middleburgh, S. C., Dahlfors, M., & Lee, W. E. (2021). Performance and economic assessment of enriched gadolinia burnable absorbers. *Progress in Nuclear Energy*, 137, 103752.
- [7] Jamnezhad, H., & Jafari, M. (2016). Structure of Gd_2O_3 nanoparticles at high temperature. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 408, 164-167.
- [8] Cheraghali, R., & Aghazadeh, M. (2016). A Simple and Facile Electrochemical Route to Synthesis of Metal Hydroxides and Oxides Ultrafine Nanoparticles (M=La, Gd, Ni and Co). *Analytical & Bioanalytical Electrochemistry*, 8(1), 64-77.
- [9] Majeed, S., & Shivashankar, S. A. (2014). Microspherical, hierarchical structures of blue–green-emitting Dy: GdOOH and Dy: Gd_2O_3 . *Materials Letters*, 125, 136-139.
- [10] Tamrakar, R. K., Tiwari, N., Dubey, V., & Upadhyay, K. (2015). Infrared spectroscopy and luminescence spectra of Yb^{3+} doped ZrO_2 nanophosphor. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8(3), 399-403.
- [11] Bedekar, V., Dutta, D. P., & Tyagi, A. K. (2010). White light emission from spin coated Gd_2O_3 : Dynano phosphors synthesized using polyol technique. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 10(12), 8234-8238.
- [12] Santos, M. H., Oliveira, M. D., Souza, L. P. D. F., Mansur, H. S., & Vasconcelos, W. L. (2004). Synthesis control and characterization of hydroxyapatite prepared by wet precipitation process. *Materials Research*, 7(4), 625-630.
- [13] Ersöz, M., Işıtan, A., & Balaban, M. (2018). *Nano Teknoloji I Nanoteknolojinin Temelleri*, Bilal Ofset, Denizli. ISBN 978-975-6992-80-7.
- [14] de Moura, A. P., Oliveira, L. H., Nogueira, I. C., Pereira, P. F., Li, M. S., Longo, E., & Rosa, I. L. (2014). Synthesis, structural and photophysical properties of Gd_2O_3 : Eu^{3+} nanostructures prepared by a microwave sintering process. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 4(03), 374-388.

- [15] Durante, L. P., Rocha, L. A., Dos Santos, D. P., Coelho, F. O., Schiavon, M. A., Ribeiro, S. J. L., & Ferrari, J. L. (2015). Synthesis, characterization and evaluation of scintillation properties of Eu^{3+} -doped Gd_2O_3 obtained using PEG as precursor. *Journal of Alloys and Compounds*, 648, 467-473.
- [16] Glaspell, G., Wilkins, J. R., Anderson, J., & El-Shall, M. S. (2008). Formation of rare-earth upconverting nanoparticles using laser vaporization controlled condensation. In *Infrared Technology and Applications XXXIV*. 17-20 March, Florida, 6940, 69403B.
- [17] Das, G. K., Heng, B. C., Ng, S. C., White, T., Loo, J. S. C., D'Silva, L., & Tan, T. T. Y. (2010). Gadolinium oxide ultranarrownanorods as multimodal contrast agents for optical and magnetic resonance imaging. *Langmuir*, 26(11), 8959-8965.
- [18] Huang, D., Zhang, X., Liu, J., & Zhang, D. (2010). Synthesis of polycrystalline Yb: $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ nanopowders by homogeneous precipitation method. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 25(1), 123-126.
- [19] Szysiak, A., Zhydachevskii, Y., & Suchocki, A. (2014). Upconversion in Gd_2O_3 : Er, Yb nanophosphors obtained by hydrothermal and reverse microemulsion methods. In *International Conference on Oxide Materials for Electronic Engineering-fabrication, properties and applications (OMEE-2014)*. 26-30 May, Lviv, 155-156.
- [20] Tamrakar, R. K., & Bisen, D. P. (2015). Thermoluminescence studies of ultraviolet and gamma irradiated erbium (III)-and ytterbium (III)-doped gadolinium oxide phosphors. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 33, 169-188.
- [21] Kamińska, I., Elbaum, D., Sikora, B., Kowalik, P., Mikulski, J., Felcyn, Z., & Fronc, K. (2017). Single-step synthesis of Er^{3+} and Yb^{3+} ions doped molybdate/ Gd_2O_3 core-shell nanoparticles for biomedical imaging. *Nanotechnology*, 29(2), 025702.
- [22] Sivasamy, R., Venugopal, P., & Mosquera, E. (2020). Synthesis of $\text{Gd}_2\text{O}_3/\text{CdO}$ composite by sol-gel method: Structural, morphological, optical, electrochemical and magnetic studies. *Vacuum*, 175, 109255.
- [23] Zekri, M., Herrmann, A., Erlebach, A., Damak, K., Rüssel, C., Sierka, M., & Mañej, R. (2021). The Structure of Gd^{3+} -Doped Li_2O and K_2O Containing Aluminosilicate Glasses from Molecular Dynamics Simulations. *Materials*, 14(12), 3265.
- [24] Madshal, M. A., El-Damrawi, G., Abdelghany, A. M., & Abdelghany, M. I. (2021). Structural studies and physical properties of Gd_2O_3 -doped borate glass. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32, 14642-14653.
- [25] Kulkarni, S., Duttagupta, S., & Phatak, G. (2015). Sol-gel synthesis and protonic conductivity of yttrium doped barium cerate. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 74(1), 94-102.
- [26] Loureiro, F. J., Ramasamy, D., Ribeiro, A. F., Mendes, A., & Fagg, D. P. (2020). Underscoring the transport properties of yttrium-doped barium cerate in nominally dry oxidising conditions. *Electrochimica Acta*, 334, 135625.
- [27] Loureiro, F. J., Shakel, Z., Graça, V. C., & Fagg, D. P. (2021). Effect of humidification on the grain boundary conductivity and space-charge effects in yttrium-doped barium cerate. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46, 23828-23838.
- [28] Kelley, K. P., Sachet, E., Shelton, C. T., & Maria, J. P. (2017). High mobility yttrium doped cadmium oxide thin films. *APL Materials*, 5(7), 076105.
- [29] Devkar, J. V., Patankar, K. K., Ghone, D. M., & Mathe, V. L. (2021). Investigations of yttrium-doped cobalt-zinc ferrite as potential material for transducer application. *Emergent Materials*, 1-9.
- [30] Babilo, P., Uda, T., & Haile, S. M. (2007). Processing of yttrium-doped barium zirconate for high proton conductivity. *Journal of Materials Research*, 22(5), 1322-1330.
- [31] Shim, J. H., Gür, T. M., & Prinz, F. B. (2008). Proton conduction in thin film yttrium-doped barium zirconate. *Applied Physics Letters*, 92(25), 253115.

- [32] Yamazaki, Y., Hernandez-Sanchez, R., & Haile, S. M. (2009). High total proton conductivity in large-grained yttrium-doped barium zirconate. *Chemistry of Materials*, 21(13), 2755-2762.
- [33] Shimada, H., Takami, E., Ohba, F., Takei, C., Hagiwara, A., & Ihara, M. (2011). Effect of yttrium-doped barium zirconate on reactions in electrochemically active zone of nickel/yttria-stabilized zirconia anodes. *Journal of the Electrochemical Society*, 158(11), B1341.
- [34] Blanc, F., Sperrin, L., Lee, D., Dervişoğlu, R., Yamazaki, Y., Haile, S. M., Paëpe, G. D., & Grey, C. P. (2014). Dynamic nuclear polarization NMR of low- γ nuclei: structural insights into hydrated yttrium-doped BaZrO₃. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 5(14), 2431-2436.
- [35] Xie, H., Biswas, M., Fan, L., Li, Y., & Su, P. C. (2017). Rapid thermal processing of chemical-solution-deposited yttrium-doped barium zirconate thin films. *Surface and Coatings Technology*, 320, 213-216.
- [36] Iguchi, F., & Hinata, K. (2021). High-Temperature Elastic Properties of Yttrium-Doped Barium Zirconate. *Metals*, 11(6), 968.
- [37] Rajan, A. R., Rajan, A., John, A., Vilas, V., & Philip, D. (2019). Biogenic synthesis of nanostructured Gd₂O₃: Structural, optical and bioactive properties. *Ceramics International*, 45(17), 21947-21952.
- [38] Ortega-Berlanga, B., Hernández-Adame, L., del Angel-Olarte, C., Aguilar, F., Rosales-Mendoza, S., & Palestino, G. (2020). Optical and biological evaluation of upconverting Gd₂O₃: Tb³⁺/Er³⁺ particles as microcarriers of a Zika virus antigenic peptide. *Chemical Engineering Journal*, 385, 123414.
- [39] Cullity, B.D. (1978). *Elements of X-ray Diffraction*, 2nd ed., Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 100-105.
- [40] Kaygılı, O. (2014). Synthesis and characterization of Na₂O–CaO–SiO₂ glass–ceramic. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 117(1), 223-227.
- [41] Selvalakshmi, T., & ChandraBose, A. (2012). Optical study on gadoliniumoxide nano particles synthesized by hydro thermal method. *Advanced Materials Research*, 585, 105-109.
- [42] Ge, R., Zhao, X., Qin, L., Feng, Z., Dong, B., Chen, Q., & Li, Q. (2011). Synthesis and Optical Properties of Gd₂O₃:Er³⁺,Yb³⁺Microcrystal Using Different Solvent. *Symposium on Photonics and Optoelectronics (SOPO)*. 16-18 May, Wuhan, 1-6.
- [43] Azizian, G., Riyahi-Alam, N., Haghgoo, S., Moghimi, H.R., Zohdiaghdam, R., Rafiei, B., & Gorji, E. (2012). Synthesis route and three different core-shell impacts on magnetic characterization of gadolinium oxide-based nanoparticles as new contrast agents for molecular magnetic resonance imaging. *Nanoscale Research Letters*, 7, 549.
- [44] Vijayaprasath, G., Habibulla, I., Dharuman, V., Balasubramanian, S., & Ganesan, R. (2020). Fabrication of Gd₂O₃ Nanosheet-Modified Glassy Carbon Electrode for Nonenzymatic Highly Selective Electrochemical Detection of Vitamin B2. *ACS Omega*, 5(29), 17892-17899.
- [45] Rahman, M.M., Alam, M.M., Asiri, A.M., & Opo, F.A.D.M. (2020). Fabrication of selective and sensitive chemical sensorprobe based on ternarynano-formulated CuO/MnO₂/Gd₂O₃ spikes by hydro thermal approach. *Scientific Reports*, 10, 20248.

Araştırma Makalesi -Research/ Article

Sliding-Mode Control Techniques of SEPIC Converter in Continuous Current Mode

SEPIC Dönüştürücünün Sürekli Akım Modunda Kayan Kipli Kontrolü

Mehmet Yılmaz^{1*}, Muhammet Emin Kaçık², Muhammet Fatih Çorapsız³

Geliş / Received: 01/10/2021

Revize / Revised: 22/02/2022

Kabul / Accepted: 04/03/2022

ABSTRACT

Nowadays, direct current (DC) voltage is required for the operation of the machines used in many industrial applications. DC voltage generating photovoltaic (PV) panels or other DC voltage generators need to be converted from the voltage level produced by the DC voltage levels required for the operation of the machines. The conversion of a DC voltage to a different DC voltage is performed by DC-DC converters. The most commonly used DC-DC converters in the literature are buck, boost, buck-boost, CUK and SEPIC converter. In this study, different control methods are used in order to reach the desired voltage level of the output voltage of the equivalent series resistance and ideal SEPIC converter in continuous current mode. Conventional Proportional-Integral (PI) and Sliding Mode Control (SMC) methods are used to ensure that the converter reaches the desired voltage level. PI controller parameter values are calculated according to trial and error method. In order to compare the performances of the controller used in the case ideal and equivalent series resistance cases, the controller parameters are taken the same. SMC is shown to perform better in ideal and equivalent series resistance SEPIC converter compared to the traditional PI controller from simulation results. Besides, modeling and controller applications of SEPIC converter are realized by using MATLAB / SIMULINK program.

Keywords- *DC-DC Converter, SEPIC Converter, Sliding Mode Controller, PI Controller and Voltage Control*

ÖZ

Günümüzde birçok endüstriyel uygulamalarda kullanılan makinaların çalışması için doğru akım (DC) gerilime ihtiyaç duyulmaktadır. DC gerilim üreten fotovoltaik (PV) paneller ya da diğer DC gerilim üreteçlerinin ürettikleri gerilim seviyesinden makinaların çalışması için gerekli farklı DC gerilim seviyelerine dönüştürülmeleri gerekmektedir. Bir DC gerilimi farklı bir DC gerilime dönüştürülmesi işlemi DC-DC dönüştürücüler tarafından gerçekleştirilmektedir. Literatürde en sık kullanılan DC-DC dönüştürücüler; alçaltıcı, yükseltici, alçaltıcı-yükseltici, CUK ve SEPIC dönüştürücüdür. Bu çalışmada sürekli akım modunda eşdeğer seri dirençli ve eşdeğer seri dirençsiz SEPIC dönüştürücünün çıkış geriliminin arzu edilen gerilim seviyesine ulaşması için farklı kontrol yöntemleri kullanılmıştır. Dönüştürücünün arzu edilen gerilim seviyesine ulaşmasını sağlamak için geleneksel Oransal-İntegral (PI) ve Kayan Kipli Kontrolcü (KKK) kullanılmıştır. PI kontrolcü parametre değerleri deneme-yanılma yöntemine göre hesaplanmıştır. İç dirençli ve iç dirençsiz durumda kullanılan kontrolcü performanslarını kıyaslamak amacıyla kontrolcü parametreleri aynı alınmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarından kullanılan kontrolcüler

^{1*}Corresponding author contact: mehmet.yilmaz@atauni.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7624-4245>)

Department of Electrical and Electronics Engineering, Atatürk University, Faculty of Engineering, Erzurum, Turkey

²Contact: mekalcik@agri.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-8601-1269>)

Department of Electronics and Automation, Ağrı İbrahim Çeçen University, Patnos Vocational School, Ağrı, Turkey

³Contact: corapsiz@atauni.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5692-8367>)

Department of Electrical and Electronics Engineering, Atatürk University, Faculty of Engineering, Erzurum, Turkey

kararlı durum hatası, yerleşme zamanı ve yükselme zamanı gibi başarımlar parametreleri açısından kıyaslanmıştır. KKK hem dirençli hem de iç dirençsiz SEPIC dönüştürücüde geleneksel PI denetleyiciye oranla daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Simülasyon çalışmaları MATLAB/SIMULINK programı kullanılarak yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler- DC-DC Dönüştürücü, SEPIC Dönüştürücü, Kayan Kipli Kontrolcü, PI kontrolcü ve Gerilim Kontrolü

I. INTRODUCTION

Before the advances in modern power electronics technology, DC-DC conversion was carried out by the operation of 2 DC machines as motors and generators. The voltage value desired by the load was obtained by adjusting the parameters of the DC machine operating as a generator [1]. After technological advances in power electronics, these structures have been replaced by DC-DC converters. DC-DC converters are circuit topologies that provide power to the DC voltage load below or above the desired voltage level [2]. Converters in DC systems increase or decrease the voltage which is done by the transformer in alternating current (AC) systems [3]. While the desired voltage values were adjusted with the generator parameters before the technological developments, semiconductor switches are now used to adjust voltage values after the technological developments. Semiconductor switches, such as MCT, SCR, MOSFET and IGBT are generally used for power control in DC-DC converters [2]. By adjusting the transmission and cutting times of the switch, the desired output voltage is applied to the load side at the desired level. Figure 1 shows the DC-DC converter block diagram.

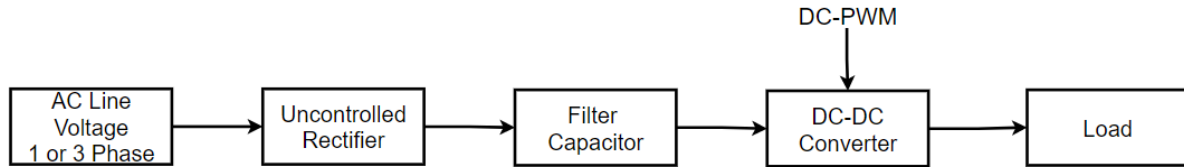


Figure 1. DC-DC converter block diagram

There are 2 different situations between the source voltage (V_{in}) and the output voltage (V_{out}) of the DC-DC converters.

- $V_{in} < V_{out}$
- $V_{in} > V_{out}$

Buck and boost converters are considered as basic converters. In some circuits, the buck-boost, CUK and SEPIC converter topologies are used with the combination of these two basic converters. The difference of CUK converter from buck-boost and SEPIC converter is that it has reverse polarity between output voltage and input voltage. DC-DC converters are operated in 2 different time modes;

- Continuous Current Mode (CCM)
- Discontinuous Current Mode (DCM)

Current modes vary depending on the inductor size. If the inductor current is reset during the cutting of the semiconductor switching element the DCM occurs, the CCM occurs, otherwise. In general, converters are designed to operate in CCM. DC-DC converters are generally used in mobile phone chargers, photovoltaic systems and car audio systems.

There are many studies in the literature about SEPIC converter. For example, SEPIC led driver is designed by Şehirli E. et al. [4]. In the study, the design of the converter has been realized and applied by determining the values of the SEPIC converter circuit elements through the input voltage, power and output voltage of the drive. Kesik E. P. [5] designs SEPIC battery charger hardware for automotive photovoltaic applications. SEPIC converter topology is examined in detail and all necessary parameters of the components are calculated using the relevant theoretical equations in line with the design goals. As a result of these calculations, the most suitable switching frequency is determined. Consequently, SEPIC converter circuit is designed and simulated with LTspice circuit simulator. Simulation studies were carried out in real time and verified by performing the required experiments. Sel A. [6] applies the SMC to the SEPIC converter in a discrete time environment. The state space model of the SEPIC converter to be controlled is obtained using the state space mean method. Then, the system model

required for the controller is calculated by considering the small signal model of the converter. As a result of the simulation studies carried out, the controller's robustness is illustrated. Khateb A. E. et al. [7] design a SEPIC converter based fuzzy logic controller (FLC) for maximum power point tracking (MPPT) of a PV system. The performance of the proposed controller is compared to conventional PI-based converters. They observed that the proposed controller performance from simulation and real-time results is better than traditional PI based controllers. Chiang and Shieh [8] study the modeling and control of PV charging system. In the first part of the study, the authors provide a dynamic model of the SEPIC converter. Also, the adaptive MPPT controller is designed and a prototype (80-W) system is installed. The effectiveness of the suggested methods is proven by the help of simulation with extensive experimental results. The proposed system has been shown to be effective both in MPPT and power balance control. Zhao and Kwasinski [9] examine a multi-input DC-DC converter model with the help of SEPIC converter topology. The simulation of this converter structure is made by conducting basic dynamic equations and small signal analysis in CCM. As a result of the analysis, it is observed that the input current is almost constant and makes the proposed topology more flexible than multiple input topologies. Jaafar A. et al. [10] design a DC-DC SEPIC converter that operates in CCM. In the first part of the study, various aspects of the modes of operation of the SEPIC converter are analyzed. Transient time and frequency responses are compared with the help of the average state space model and small signal analysis. Later, simulations for transient time and frequency responses are confirmed by experimental studies. PI control method is used to control the designed SEPIC converter output voltage. The simulation and experimental studies indicate that the performance of the controller is robust. Alternatively, Mamarelis et al. [11] design a SEPIC converter for PV systems. The authors use a SMC to get maximum power from the PV system. As a result of simulation and experimental studies, it is observed that the SMC produces very robust results. There are also several topologies in the literature based on the SEPIC converter [12-15].

SEPIC converters are circuits that transmit the DC input voltage to the output at a lower or higher level. SEPIC converters basically consist of 1 switching element, 2 inductors, 1 diode, 2 capacitors and 1 load resistor. The output voltage of these converters has the same polarity as the input voltage has in the buck-boost converters. SEPIC converters are preferred more frequently than other converters because of their overcurrent limitation, easier control of the controlled semiconductor switch that helps to reduce the fluctuation in the input current by reduce the filter requirement [16]. SEPIC converter equivalent circuit diagram is shown in Figure 2.

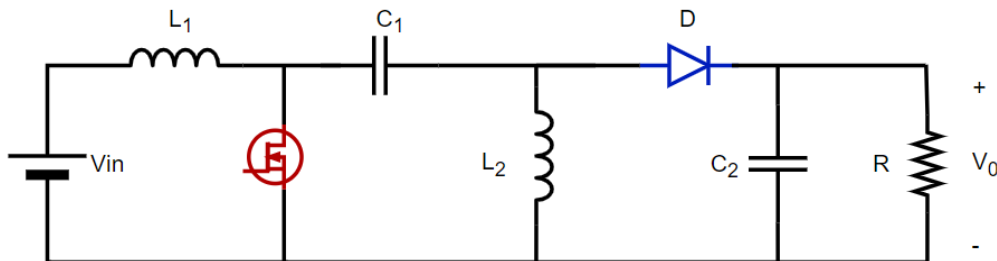


Figure 2. SEPIC converter basic circuit

II. DYNAMIC ANALYSIS OF SEPIC CONVERTER

Dynamic analysis of SEPIC converter is examined for two cases; in the first one the switching element is open and it is closed in the second one. The state space equations of the ideal and equivalent series resistor SEPIC converter in CCM are given in the following;

Before beginning, we give the nomenclature used in the equations here:

- V_{in} Input Voltage, V
- V_o Output Voltage, V
- V_{C1} Average Capacitor Voltage, V
- i_{L1} Inductor Current, A
- i_{L2} Inductor Current, A
- R Load Resistance, Ω

- C_1 Capacitor, F
- L_1 Inductor, H
- C_2 Capacitor, F
- L_2 Inductor, H

A. Ideal SEPIC Converter when the Switching Element is Closed

When the switching element is closed, the equivalent circuit given in Figure 3 is obtained. While the switch is closed, the i_{L1} main arm current supplies energy to the L_1 inductor, also, the C_1 capacitor is discharged and transfers its energy to the L_2 inductor. The current of the L_2 inductor energized thanks to the C_1 capacitor increases linearly. On the other hand, the C_2 capacitor continues to energize the load. Consequently, the dynamic analysis equations are as in equations (1), (2), (3) and (4).

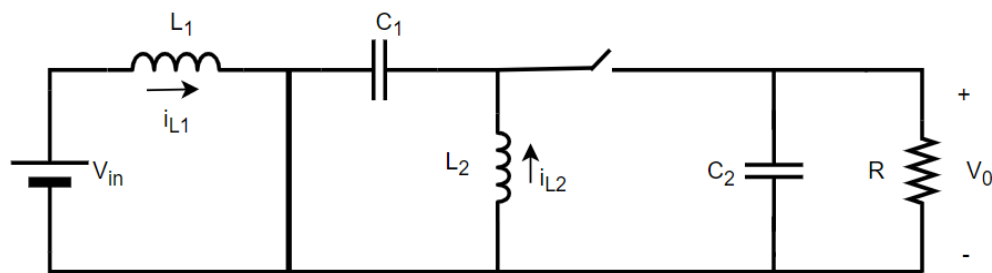


Figure 3. Switching element is closed

$$L_1 \dot{i}_{L1} = V_{in} \quad (1)$$

$$C_1 \dot{V}_{C1} = (-i_{L2}) \quad (2)$$

$$L_2 \dot{i}_{L2} = V_{C1} \quad (3)$$

$$C_2 \dot{V}_0 = \left(\frac{V_0}{R}\right) \quad (4)$$

B. Ideal SEPIC Converter when the Switching Element is Open

When the switching element is open, the equivalent circuit given in Figure 4 is obtained. The diode D is closed while the switching element is open. The C_1 capacitor is charged through the L_1 inductor and V_{in} . Also, the C_2 capacitor is charged through V_{in} , L_1 and L_2 inductors, energizes the load. Hence, the dynamic analysis equations are as in equations (5), (6), (7) and (8).

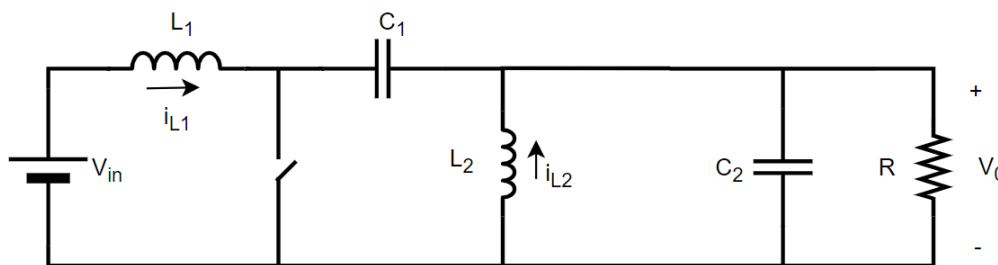


Figure 4. Switching element is open

$$L_1 \dot{i}_{L1} = (V_{in} - V_{C1} - V_0) \quad (5)$$

$$C_1 \dot{V}_{C1} = i_{L1} \quad (6)$$

$$L_2 \dot{i}_{L2} = (-V_0) \quad (7)$$

$$C_2 \dot{V}_0 = (i_{L1} + i_{L2} - \frac{V_0}{R}) \quad (8)$$

C. Equivalent Series Resistor SEPIC Converter when the Switching Element is Closed

Equivalent series resistance SEPIC converter is the circuit topology that behaves closest to the operation of the SEPIC converter in real-time applications. In this topology, the circuit components are not considered ideal and the circuit components used have series resistor. In Figure 5, equivalent series resistance SEPIC converter circuit topology is shown when switching element is closed. In such circumstances, the dynamic analysis equations are as in equations (9), (10), (11) and (12).

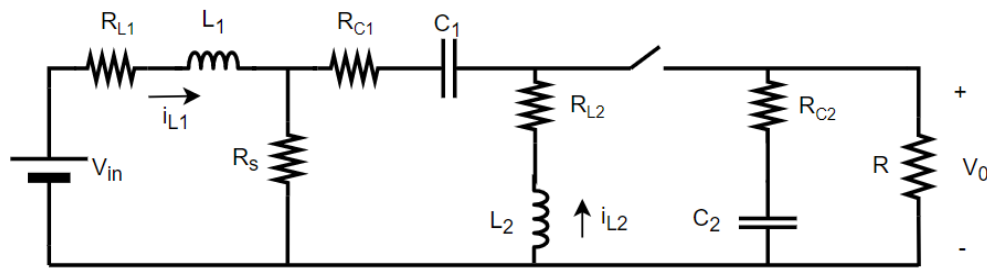


Figure 5. Switching element is closed

$$L_1 \dot{i}_{L1} = V_{in} - R_{L1} i_{L1} \quad (9)$$

$$C_1 \dot{V}_{C1} = (-i_{L2}) \quad (10)$$

$$L_2 \dot{i}_{L2} = V_{C1} - i_{L2} (R_{C1} + R_{L2}) \quad (11)$$

$$C_2 \dot{V}_0 = (-\frac{V_0}{R + R_{C2}}) \quad (12)$$

D. Equivalent Series Resistor SEPIC Converter when the Switching Element is Open

In Figure 6, equivalent series resistance SEPIC converter circuit topology is shown when switching element is open. The dynamic analysis equations in this scenario are as in equations (13), (14), (15) and (16).

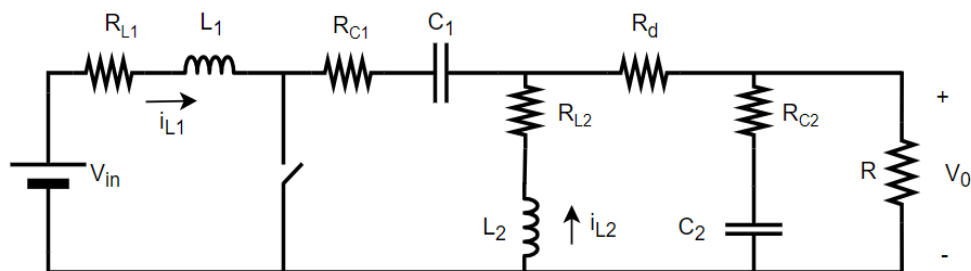


Figure 6. Switching element is open

$$L_1 \dot{i}_{L1} = V_{in} - (R_{L1} + R_{C1} - R_a R_{C2}) i_{L1} + (R_a R_{C2}) i_{L2} - V_{C1} - V_{C2} R_a \quad (13)$$

$$C_1 \dot{V}_{C1} = i_{L1} \quad (14)$$

$$L_2 \dot{i}_{L2} = -V_{C2} R_a - (R_{L2} + R_a R_{C2}) i_{L2} - (R_a R_{C2}) i_{L1} \quad (15)$$

$$C_2 \dot{V}_0 = i_{L1} R_a + i_{L2} R_a - \frac{V_0}{R + R_{C2}} \quad (16)$$

$$R_a = \frac{R}{R + R_{C2}} \quad (17)$$

III.PI CONTROLLER

The PI controller, formed by the combination of proportional (P) and integral (I) controllers, is one of the most frequently used controller types in the control of linear systems [17]. The transfer function of this controller is given in equation (18).

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt \quad (18)$$

Here, K_i represents the integral gain and K_p is used for the proportional gain. The block diagram of the PI controller is given in Figure 7. In Figure 7, $R(s)$ is equal to the reference voltage and the output voltage is equal to $V_0(s)$. The controller is tuned optimally by using a trial and error method, and gains are found as $K_p = 0,001$ and $K_i = 0,2$.

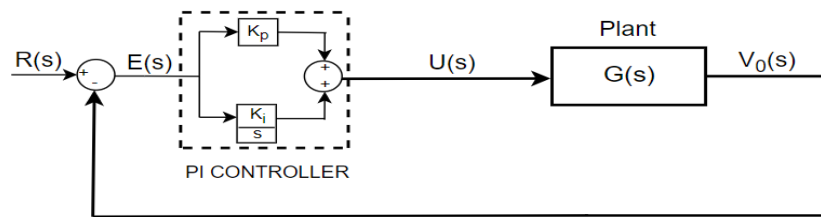


Figure 7. PI Controller

IV.SLIDING MODE CONTROLLER

SMC is a frequently preferred control method for the management of nonlinear systems. The most important advantage of this method is that it is not necessary to know the mathematical model of the nonlinear system. The idea of SMC first introduced by Emelyanov in 1950 [18]. In the SMC method, using the infinite switching feedback control, the linear or nonlinear system is drawn and held on the surface defined in the state space [19]. This surface consists of state variables and is selected according to the desired system response shape and called as the "sliding surface". Once the system reaches the sliding surface, its behavior becomes independent of the controlled system parameter changes and disruptive effects, which indicates that a robust controller structure is obtained. There are many studies in the literature about the SMC, which is frequently preferred for the solution of nonlinear systems [20,21]. The SMC method consists of access and sliding phases with 3 basic rules for the access phase [22]:

Constant change access rule:

$$\dot{s} = -p \text{sign}(s) \quad (19)$$

Constant-Proportional alternating access rule:

$$\dot{s} = -p \text{sign}(s) - K_s \quad (20)$$

Exponential alternating access rule:

$$\dot{s} = -p |s|^a \text{sign}(s) \quad (21)$$

V. SIMULATION RESULTS

Simulation studies are examined in 2 different ways; the SEPIC converter is set to the ideal status in the first one, and it is set to series resistor status in the second case.

A. Ideal SEPIC Converter

The design parameters of ideal SEPIC converter controlled by SMC and PI control methods are given in Table 1. Design parameters are calculated by obtaining 12V output voltage from 20V input voltage. The simulation model of the SEPIC converter, which is expressed with dynamic equations, are realized with MATLAB / SIMULINK program.

Table 1. Ideal SEPIC converter design parameters

Input Voltage	20 V
Output Voltage	12 V
Capacitor Values C_1 & C_2	2 μ F & 800 μ F
Inductor Values L_1 & L_2	134 μ H & 134 μ H
Switching Frequency	100 kHz
Load Resistance	5 Ω

In Figures 8 and 9, ideal SEPIC converter simulation model controlled by PI control method and ideal SEPIC converter simulation model controlled by SMC method are shown, respectively.

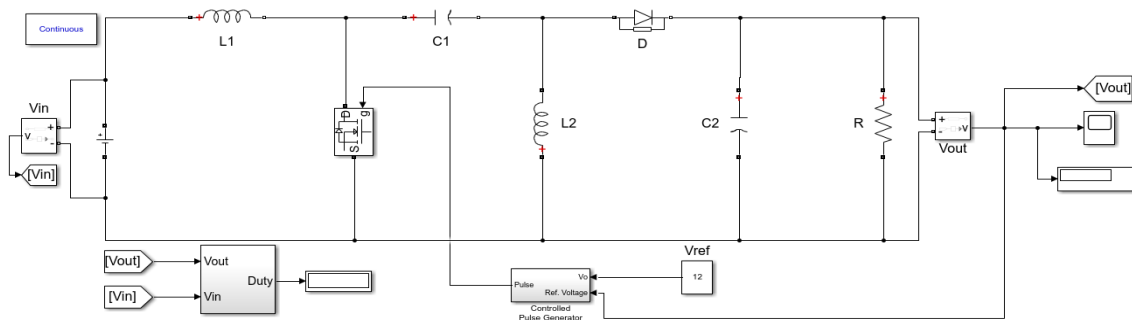


Figure 8. SEPIC converter simulation model controlled with PI controller

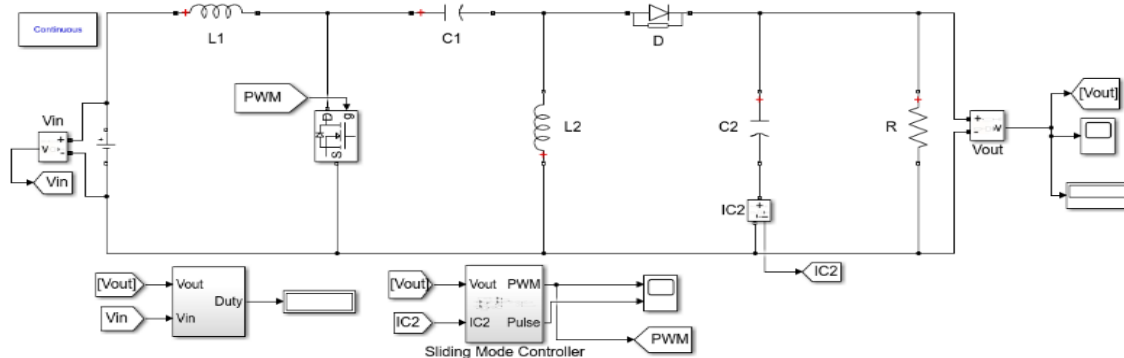


Figure 9. SEPIC converter simulation model controlled with SMC

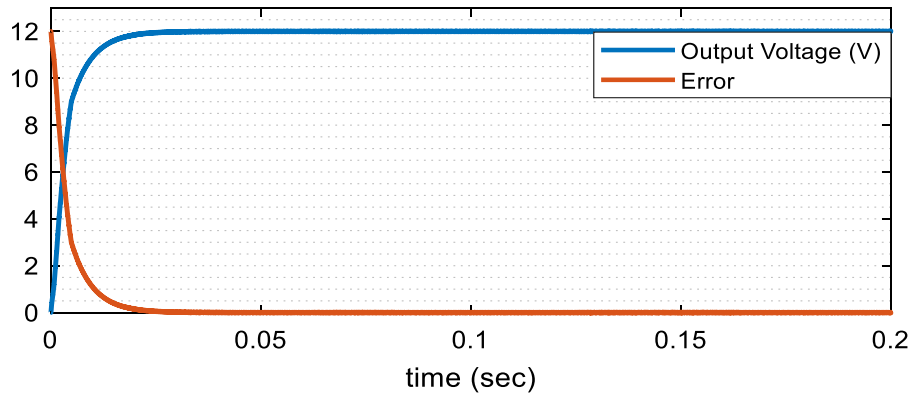


Figure 10. Output voltage and error with PI controller

Figure 10 shows the time-dependent variation of the SEPIC converter output voltage controlled by the PI controller. It is observed that the output voltage of SEPIC converter reaches the desired output voltage 12V after 0,02s. Also Figure 10 shows the time-dependent variation of the error in the SEPIC converter controlled by the PI controller. It is observed that the error of output voltage reaches the lowest value after approximately 20 ms.

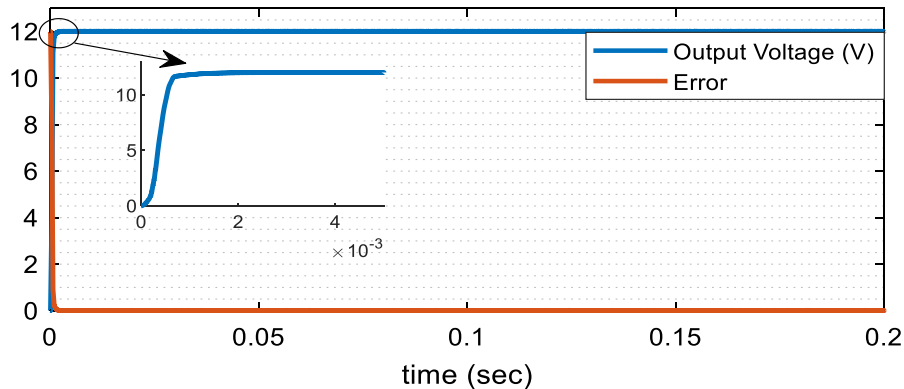


Figure 11. Output voltage with SMC

The change of output voltage of SEPIC converter controlled by SMC shows in Figure 11. It can be observed that the output voltage reaches the reference value after approximately 0,001s. Moreover, Figure 11 shows the error of the output voltage. It can be seen that the error dropped to a minimum value after about 1ms.

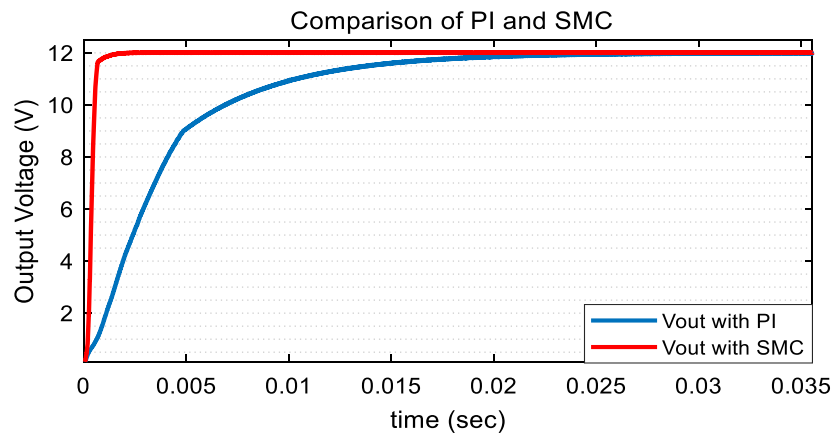


Figure 12. Comparison of output voltage of SEPIC converter

In Figure 12, the comparison of the output voltages of ideal SEPIC converter controlled by two different control methods is provided. It can be observed that the SMC reaches the desired reference value in much shorter time compared to the PI controller.

B. Equivalent Series Resistance SEPIC Converter

The design parameters of the equivalent series resistance SEPIC converter controlled by SMC and PI control methods are given in Table 2. As a result of the simulation studies, the output voltage and the error in the output voltage are shown for different control methods of ideal SEPIC converter and sketched in the figures which are given in the following.

Table 2. Equivalent series resistance (ESR) SEPIC converter design parameters

Input Voltage	20 V
Output Voltage	12 V
Capacitor Values C_1 & C_2	$2\mu\text{F}$ & $0.08\mu\text{F}$
Inductor Values L_1 & L_2	$134\mu\text{H}$ & $134\mu\text{H}$
Switching Frequency	100 kHz
Load Resistance	$5\ \Omega$
ESR of capacitors R_{C1} & R_{C2}	$0.01\ \Omega$ & $0.01\ \Omega$
ESR of inductors R_{L1} & R_{L2}	$0.03\ \Omega$ & $0.03\ \Omega$

In Figures 13 and 14, equivalent series resistance SEPIC converter simulation model controlled by PI control method and equivalent series resistance SEPIC converter simulation model controlled by SMC method are given respectively.

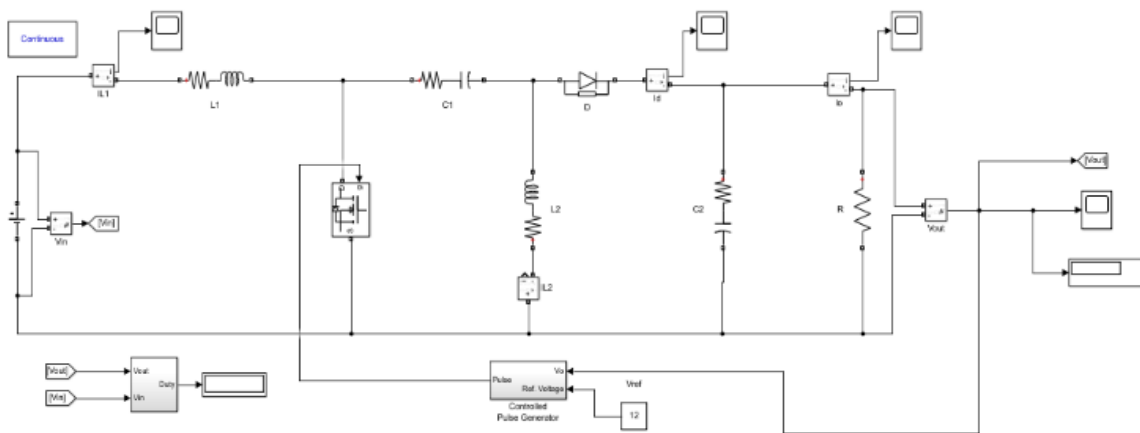


Figure 13. SEPIC converter simulation model controlled with PI controller

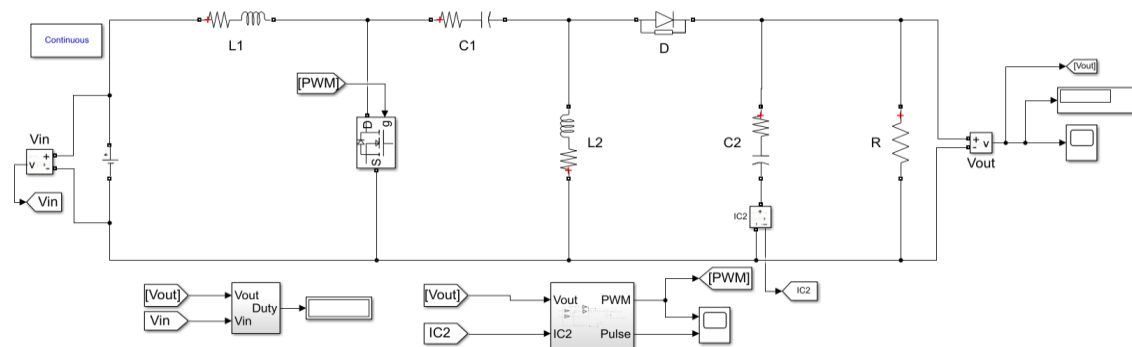


Figure 14. SEPIC converter simulation model controlled with SMC

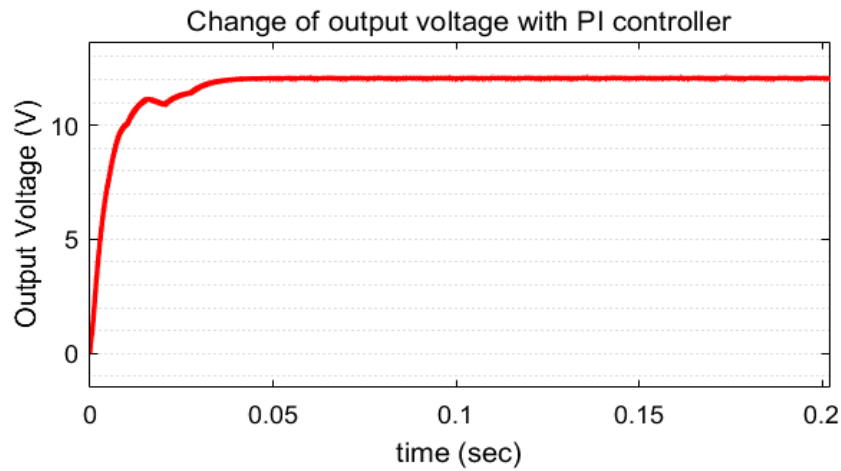


Figure 15. Output voltage with PI controller

The change of the output voltage based on time-dependent of the equivalent series resistance SEPIC converter is shown in Figure 15. The output voltage of the converter controlled by the PI controller reaches the reference value after $0,04 s$.

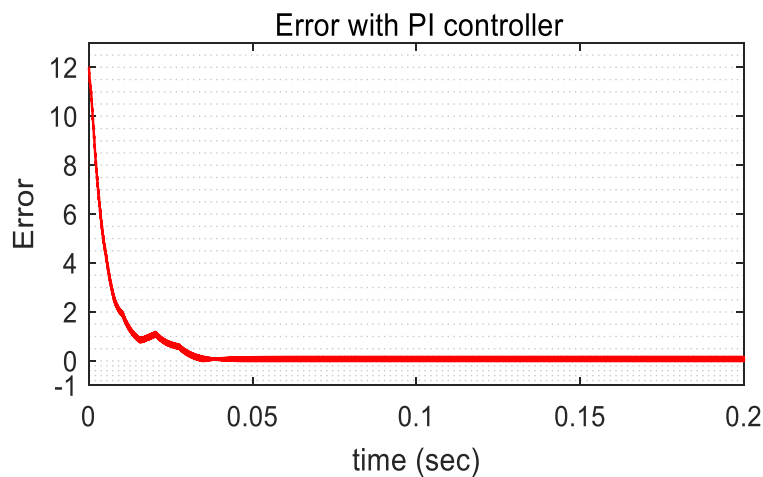


Figure 16. Error with PI controller

It can be seen in Figure 16 that the error in the output voltage of the SEPIC converter controlled by the PI controller drops to minimum values after $40 ms$.

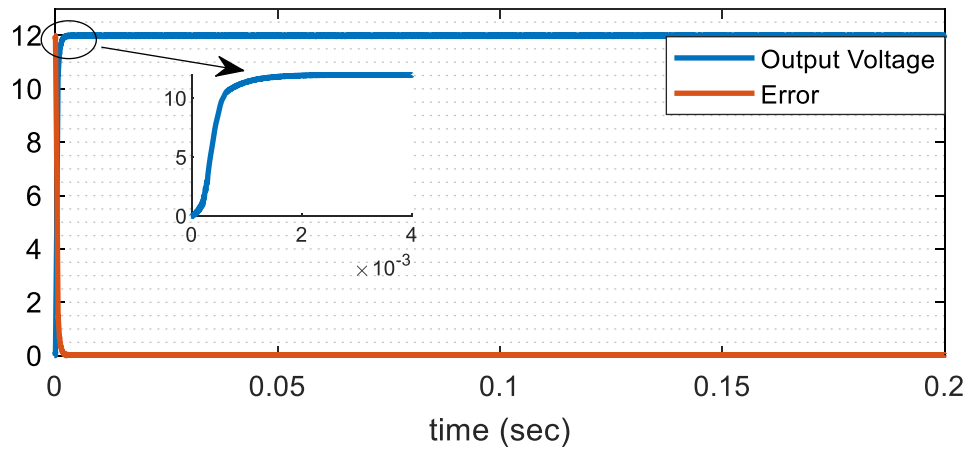


Figure 17. Output voltage with SMC

Figure 17 shows that the output voltage of the equivalent series resistance SEPIC converter controlled by SMC reaches 12V after approximately 0,002s. Also, the value of the error in the output voltage indicates the controller performance. Figure 17 shows the error in the equivalent voltage resistance SEPIC converter output voltage controlled by SMC.

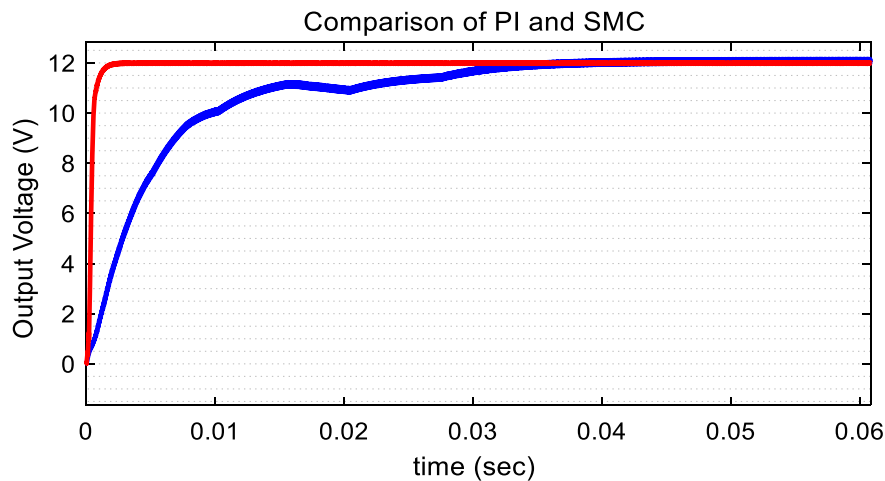


Figure18. Comparison of output voltage of SEPIC converter

In Figure 18, the comparison of the output voltages of the equivalent series resistance SEPIC converter controlled by two different control methods is shown. It can be seen that the SMC reaches the desired reference value in much shorter time compared to the PI controller.

Table 3.Comparison of controller

Controller	PI	SMC	PI(ESR)	SMC(ESR)
Settling time	0,02 s	0,001 s	0,04 s	0,002
Rise time	0,0008 s	0,00035 s	0,006 s	0,00046 s
Overshoot	% 0,372	% 0,259	%0,6	% 0,4
Error (ITAE)	0,0003652	0,000191	0,0008412	0,0004127

VI.CONCLUSION

In this study, the analysis and modeling of the SEPIC converter is performed using the MATLAB/SIMULINK program. In the first part of the study, the sliding mode and the PI controller are used in order to reach the desired reference ideal SEPIC converter. PI controller parameters are calculated as $K_p = 0,001$ and $K_i = 0,2$ with the help of trial and error method. When the PI control method is applied, the output voltage reached the reference after approximately $0,02s$, while the sliding mode controller method followed the reference after $0,001s$. It is observed that the error in the output voltage is the lowest value after $20 ms$ for the PI control method and $1ms$ for the SMC. In the second part of the study, the sliding mode and PI controller are used in order to follow the desired reference of the equivalent series resistance SEPIC converter. The PI controller parameters are taken to be the same as the K_p and K_i values in the ideal SEPIC converter for comparison. When the PI control method is applied, the output voltage reached the reference after approximately $0,04s$, and when the SMC method is used, the output voltage followed the reference after $0,002s$. When comparing the two different states, it is observed that fluctuation occurred in the output voltage in the equivalent series resistance case and the settling time increased. This study can be used to obtain a new dc voltage by adjusting the voltage produced from photovoltaic panels in proportion to the needs of the load. SEPIC converters are preferred more frequently than other converters because of their overcurrent limitation, easier control of the controlled semiconductor switch that helps to reduce the fluctuation in the input current by reduce the filter requirement. As a future research, real-time implementation of the SEPIC converter can be performed and its control with different controllers is considered.

REFERENCES

- [1] Asadi, F. (2018). Power Electronics Control. İstanbul Umuttepe Education, 249-251.
- [2] Abut, N. (2008). Güç Elektroniği Yarıiletken ve Dönüştürücüler. İstanbul Umuttepe Education, 326-332.
- [3] Rashid, M. H. (2014). Power Electronics Devices, Circuits, and Applications. London Pearson Education, Fourth Edition, 210-211.
- [4] Şehirli, E., Altınay, M., Üstün, Ö., & Çakır, B. (2017). Comparison of Single Phase Buck-Boost and Sepic Led Driver. *Light & Engineering*, 25, 92-98.
- [5] Kesik, E. P. (2018). *Design and implementation of a Sepic Battery Charger for Automotive PV Applications*. Master Thesis, İstanbul Technical University, Graduate School of Science Engineering and Technology, İstanbul.
- [6] Sel, A. (2019). *Dynamic output feedback discrete time sliding mode control of Sepic*. Master Thesis, TOBB University of Economics & Technology, Graduate School of Engineering and Science, Ankara, 2019.
- [7] El Khateb, A., Rahim, N. A., Selvaraj J., & Uddin M. N. (2014). Fuzzy Logic Controller Based SEPIC Converter for Maximum Power Point Tracking. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50, 2349-2358.
- [8] Chiang, S. J., Shieh H., & Chen, M. (2009). Modeling and Control of PV Charger System with SEPIC Converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56, 4344-4353.
- [9] Zhao, R., & Kwasinski, A. (2009). Multiple-input single ended primary inductor converter (SEPIC) converter for distributed generation applications. *2009 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*. 20-24 September, San Jose, 1847-1854.
- [10] Jaafar, A., Lefranc, P., Godoy, E., Shi, X. L., Fayaz A., & Li, N. (2009). Experimental validation with a control point of view analysis of the SEPIC converter. *35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics*. 3-5 November, Porto, 462-497.
- [11] Mamarelis, E., Petrone G., & Spagnuolo, G. (2014). Design of a Sliding-Mode-Controlled SEPIC for PV MPPT Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61, 3387-3398.
- [12] Al-Saffar, M. A., Ismail, E. H., Sabzali, A. J., & Fardoun, A.A. (2008). An Improved Topology of SEPIC Converter With Reduced Output Voltage Ripple. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 23, 2377-2386.
- [13] Hammerbauer, J., & Stork, M. (2013). State space study of the SEPIC converter. *2013 International Conference on Applied Electronics*. 10-12 September, Pilsen, 1-4.

- [14] Babaei, E., & Mahmoodieh, M. E. (2014). Calculation of Output Voltage Ripple and Design Considerations of SEPIC Converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61, 1213-1222.
- [15] Sakthivel, C., Selvakumar, K., & Venkatesan, T. (2019). Modified SEPIC Converter with High Static Gain for Renewable Energy Applications. *Journal of Control Theory and Applications*.
- [16] Niculescu, E., Purcaru D. M., & Niculescu, M. C. (2006). A Steady-State Analysis of the PWM SEPIC Converter. *Proceedings of the 10th WSEAS international conference on Circuits*. 10-12 July, Athens, 217 – 222.
- [17] Bucz, Š., & Kozáková, A. (2018). Advanced Methods of PID Controller Tuning for Specified Performance.
- [18] Mehta J. A., & Naik, B. (2019). Sliding Mode Controllers for Power Electronic Converters. Springer, First Edition.
- [19] Ogata, K. (2010). Modern Control Engineering, International Edition.
- [20] Kaleli, A. (2021). Development of on-line neural network based adaptive fractional-order sliding mode robust controller on electromechanically actuated engine cooling system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 09596518211048033.
- [21] Ayten, K. K., Dumlu, A., & Kaleli, A. (2018). Real-time implementation of self-tuning regulator control technique for coupled tank industrial process system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 232(8), 1039-1052.
- [22] Kose, E., Abaci, K., & Aksoy, S. (2010). Modelling and analysis of mechanical systems with PID and Sliding Mode Control. *National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering*, 179-183.

Araştırma Makalesi - Research Article

Dynamic Stability of Cracked Composite Plates

Çatlaklı Kompozit Plakaların Dinamik Kararlılığı

Özgür Sayer^{1*}, Hasan Öztürk², Çınar Emine Yeni³, Aysun Baltacı⁴, Rafet Can Ümütlü⁵

Geliş / Received: 01/10/2021

Revize / Revised: 10/03/2022

Kabul / Accepted: 14/03/2022

ABSTRACT

In this study, the dynamic instability region of cracked composite plates subjected to periodic axial loading has been investigated numerically by using the finite element method. A composite plate based on classical lamination theory is modeled by using the finite element method. It is assumed that the boundary condition of the composite plate is fixed on one side and the other sides are free. The composite plate is divided into square plate elements, each having four nodes. Each node has one translational and two rotational degrees of freedom, therefore, the square plates have twelve degrees of freedom. Mathieu-Hill type motion equation, which is used to calculate the dynamic instability region of the plate is created by using energy expressions obtained from the Lagrange equation. The developed MATLAB finite element code is used to examine the effect of crack on dynamic instability region for composite plates.

Keywords- Dynamic Instability Region, Cracked Composite Plates, Finite Element Method

ÖZ

Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak periyodik eksenel yüklemeye maruz kalan çatlaklı kompozit plakaların dinamik kararsızlık bölgesi sayısal olarak incelenmiştir. Klasik laminasyon teorisine dayanan kompozit plaka, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Kompozit plakanın sınır şartlarının bir taraftan sabitlendiği, diğer tarafların serbest olduğu varsayılmaktadır. Kompozit plaka, her biri dört düğüme sahip kare plaka elemanlarına bölünmüştür. Her düğümün bir vektörel ve iki dönme serbestlik derecesine sahiptir, bu yüzden bu kare plaka elemanlar on iki serbestlik derecesine sahiptir. Plakanın dinamik kararsızlık bölgesi hesaplamak için kullanılan Mathieu-Hill tipi hareket denklemi, Lagrange denkleminde elde edilen enerji ifadeleri kullanılarak oluşturulmuştur. Geliştirilen MATLAB sonlu elemanlar kodu kullanılarak çatlaklı kompozit plakalar için dinamik kararsızlık bölgesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler- Dinamik Kararsızlık Bölgesi, Çatlaklı Kompozit Plakalar, Sonlu Elemanlar Metodu

^{1*}Corresponding author contact: ozgursayer@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-9737-708X>)

The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Dokuz Eylul University, Izmir, Turkey

²Contact: hasan.ozturk@deu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-8308-8428>)

Department of Mechanical Engineering, Dokuz Eylul University, Izmir, Turkey

³Contact: cinar.yeni@deu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-4268-7077>)

Department of Mechanical Engineering, Dokuz Eylul University, Izmir, Turkey

⁴Contact: aysun.baltaci@ege.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9049-1610>)

Department of Mechanical Engineering, Ege University, Izmir, Turkey

⁵Contact: rafet.umutlu@deu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-0793-4979>)

The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Dokuz Eylul University, Izmir, Turkey

I. INTRODUCTION

In today's world, reliable structures with high performance, toughness, strength, being lightweight, together with low-cost sustainable products and processes are some of the requisitions. Therefore, in many branches of engineering, composite plates are widely used such as the automotive, aerospace, spacecraft industries and solar panels. Composite plates are subjected to various loading types such as static and dynamic loads which cause loss of static and dynamic stability. Furthermore, cracks can occur on composite plates due to various reasons such as mechanical damage and fatigue. Many studies about composite material, crack, and dynamic stability features of plates have been carried out by other researchers. Some of them can be summarized as follows:

Chen and Yang [1] investigated the effects of various parameters on the dynamic instability region of laminated composite plates owing to periodic loads by using the finite element method. Reddy [2] examined the mechanics of the composite plate, namely the bending, buckling and vibration of composite plates were analyzed. Voyiadjis and Kattan [3] studied on mechanics of composite materials by using the MATLAB program. MATLAB code was written to create the composite materials in this study. Daniel and Ishai [4] studied the classical lamination theory. Classical lamination theory has been expanded to include various applications to sandwich plates. Aggarwal [5] investigated the method for determining the optimal ply angle distributions in variable stiffness laminates by using the finite element method.

Krawczuk and Ostachowicz [6] studied a method of creating internal, non-propagating and open crack on the stiffness matrix of a finite plate element. A cracked stiffness matrix was created by using the Castigliano theory. Avadutala [7] studied vibrational responses from a specimen which different types of fractures in it at different locations on the composite plate. Khoei [8] studied on extended finite element method theory. In the study, special functions were added to the finite element approximation using the partition of unity in the extended finite element method.

Timoshenko and Gere [9] investigated the theory of elastic stability on elastic systems. Bolotin [10] studied on the dynamic stability of elastic systems. This study has examined the effects of various parameters on dynamic instability region by applying various methods. Dey and Singha [11] examined Dynamic stability analysis of composite skew plates subjected to periodic in-plane load. In this study, the dynamic stability characteristics of simply supported laminated composite skew plates subjected to a periodic in-plane load are investigated using the finite element approach. Stability analysis of a cantilever composite beam on elastic supports have investigated by Ozturk and Sabuncu [12]. Goren Kiral et al. [13] examined the dynamic stability of composite cantilever beams subjected to periodic axial loading with delaminations at pre-set locations by using finite element method. Nonlinear vibration and dynamic stability analysis of composite plates were investigated by using the shear deformable finite element method by Singha and Duripa [14]. Hutt [15] studied on dynamic instability region of plates by using the finite element method. This study investigated the development of the governing set of matrix differential equations and the procedure for the development of the elemental matrices. Srivastava et al. [16] investigated dynamic instability of stiffened plates subjected to non-uniform harmonic in-plane edge loading. Assessment of dynamic instability of laminated composite-sandwich plates have examined by Sahoo and Singh [17]. Radu and Chattopadhyay [18] investigated the dynamic stability of composite plates with delaminations. The results of natural frequencies and critical buckling loads were calculated and compared with NASTRAN results. The effect of edge crack and crack growth on the stability was examined in this study. Abramovich [19] studied on vibrations and stability of composite plate structures. The natural frequencies, the critical buckling loads, dynamic stability of composite structures were examined in this study. Dynamic stability of rotating cantilever composite thin walled twisted plate with initial geometric imperfection under in-plane load were investigated by Gu et al. [20]. Sayer [21] investigated dynamic stability of cracked composite plates by using the finite element method. In this paper, the effects of ply angles, static and dynamic load parameters, and crack location on the dynamic instability region of cracked composite plates subjected to periodic axial loading have been investigated by using the finite element method. Through this study, composite plate, crack and dynamic stability issues, which were examined separately in the literature, were combined and all of these issues were examined together.

II. THE CRACKED COMPOSITE PLATE MODELS

In this study, the plate is divided into square elements using the finite element method. These square elements are connected to each other by nodes. Degrees of freedom for these square elements are the displacements at the nodes. As shown in figure 1, each square element has one translational and two rotational degrees of freedom at each corner. The two rotational components are situated on the x and y axes. The one translational component is situated on the z axes. Each square plate element has a total of twelve degrees of freedom.

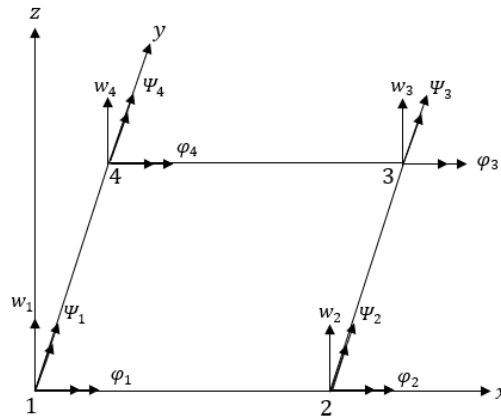


Figure 1. Generalized coordinates of a square plate element

Ψ is symbol of rotational displacement on y axis, ϕ is symbol of rotational displacement on x axis and w is symbol of translational displacement on z axis

The rotational components at corner 1 are

$$\Psi_1 = \frac{\partial w_1}{\partial y} \quad (1)$$

$$\phi_1 = \frac{\partial w_1}{\partial x} \quad (2)$$

The displacement vector for an element square element is

$$\{q\}^T = [w_1, \Psi_1, \phi_1, w_2, \Psi_2, \phi_2, w_3, \Psi_3, \phi_3, w_4, \Psi_4, \phi_4] \quad (3)$$

In this paper, a composite plate based on classical lamination theory (CLT) is modelled by using the finite element method. Calculation of the stresses functions in terms of strains functions;

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{21} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{22} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad (4)$$

The stress is obtained;

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_1}{(1 - \nu_{12}\nu_{21})} & \frac{\nu_{21}E_1}{(1 - \nu_{12}\nu_{21})} & 0 \\ \frac{\nu_{12}E_2}{(1 - \nu_{12}\nu_{21})} & \frac{E_2}{(1 - \nu_{12}\nu_{21})} & 0 \\ 0 & 0 & G_{12} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{22} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad (5)$$

E_1 is symbol of longitudinal modulus of the composite plate, E_2 is symbol of transverse modulus of composite plate and G_{12} is symbol shear modulus of the composite plate. E_1 can be written as

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m \quad (6)$$

Where E_f is Young's modulus of fiber material and E_m is Young's modulus of matrix material. V_f is volume fraction of fiber material and V_m is volume fraction of matrix material. The total volume fraction is

$$V_f + V_m = 1 \quad (7)$$

The major Poisson's ratio, ν_{12} , is given by

$$\nu_{12} = \nu_f V_f + \nu_m V_m \quad (8)$$

As seen in figure 2, two coordinate systems are described. The coordinate system with indexes 1 and 2 describes the layer coordinate system, this coordinate system is rotated by angle θ and obtaining in a new coordinate system containing x and y .

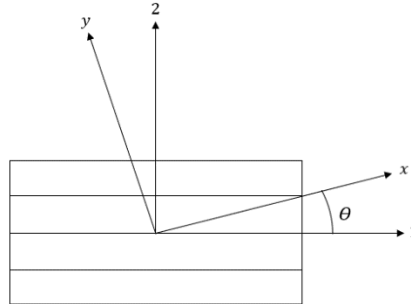


Figure 2. The coordinate system of the composite plate

The stresses and strains are multiplied by the transformation matrix $[T]$ for the transformation of the stresses and strains on the x, y coordinate system. [19]

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix}^k = [T] \begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}^k \quad (9)$$

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{22} \\ \gamma_{12} \\ 2 \end{Bmatrix}^k = [T] \begin{Bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \\ 2 \end{Bmatrix}^k \quad (10)$$

The number of the ply is described by k and the transformation matrix $[T]$ is given by

$$[T] = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & 2cs \\ s^2 & c^2 & -2cs \\ -cs & cs & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Where $c = \cos\theta$ and $s = \sin\theta$

The ply strain-stress relationship is [19]

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix}^k = [T]^{-1} [Q]^k [T] \begin{Bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}^k \quad (12)$$

Where

$$[Q]^k = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 2Q_{66} \end{bmatrix}^k \quad (13)$$

This equation is obtained

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \tau_{12} \end{Bmatrix}^k = [\bar{Q}]^k \begin{Bmatrix} \epsilon_{11} \\ \epsilon_{22} \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix}^k \quad (14)$$

Where

$$[\bar{Q}]^k = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix}^k \quad (15)$$

$$\bar{Q}_{11} = Q_{11} \cos^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{22} \sin^4 \theta \quad (16)$$

$$\bar{Q}_{12} = (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66})\sin^2\theta\cos^2\theta + Q_{12}(\sin^4\theta + \cos^4\theta) \quad (17)$$

$$\bar{Q}_{22} = Q_{11}\sin^4\theta + 2(Q_{12} + 2Q_{66})\sin^2\theta\cos^2\theta + Q_{22}\cos^4\theta \quad (18)$$

$$\bar{Q}_{16} = (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66})\sin\theta\cos^3\theta + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66})\sin^3\theta\cos\theta \quad (19)$$

$$\bar{Q}_{26} = (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66})\sin^3\theta\cos\theta + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66})\sin\theta\cos^3\theta \quad (20)$$

$$\bar{Q}_{66} = (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12} - 2Q_{66})\sin^2\theta\cos^2\theta + Q_{66}(\sin^4\theta + \cos^4\theta) \quad (21)$$

At the ply level, the stresses are given by

$$\{\sigma\}^k = [\bar{Q}]^k\{\varepsilon^0\} + z[\bar{Q}]^k\{K\} \quad (22)$$

A function of the strain on the midplane is ε^0 and curvature is K .

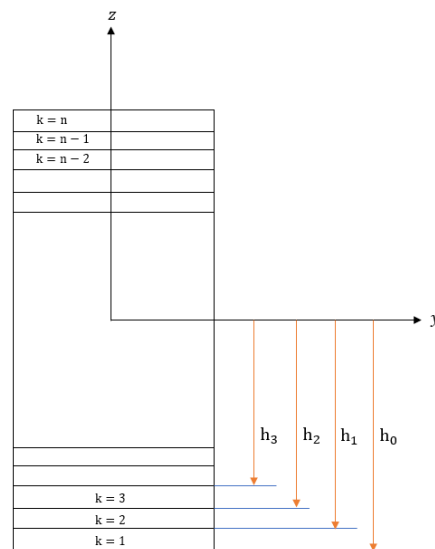


Figure 3. Layer numbering used for a typical laminated plate

As shown in figure 3, the laminates have the same thickness and y is the axis of symmetry. The total thickness of the composite plate is h . The force and moment matrix expressions are

$$\begin{Bmatrix} \begin{Bmatrix} N_{xx} \\ N_{yy} \\ N_{xy} \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} M_{xx} \\ M_{yy} \\ M_{xy} \end{Bmatrix} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [A_{11} & A_{12} & A_{16}] & [B_{11} & B_{12} & B_{16}] \\ [A_{12} & A_{22} & A_{26}] & [B_{12} & B_{22} & B_{26}] \\ [A_{16} & A_{26} & A_{66}] & [B_{16} & B_{26} & B_{66}] \\ [B_{11} & B_{12} & B_{16}] & [D_{11} & D_{12} & D_{16}] \\ [B_{12} & B_{22} & B_{26}] & [D_{12} & D_{22} & D_{26}] \\ [B_{16} & B_{26} & B_{66}] & [D_{16} & D_{26} & D_{66}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx}^0 \\ \varepsilon_{yy}^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} K_{xx} \\ K_{yy} \\ K_{xy} \end{Bmatrix} \end{Bmatrix} \quad (23)$$

Where the various constant defined as

$$A_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} \bar{Q}_{ij}^k dz = \sum_{k=1}^n \bar{Q}_{ij}^k (h_k - h_{k-1}) \quad (24)$$

$$B_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} \bar{Q}_{ij}^k z dz = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \bar{Q}_{ij}^k (h_k^2 - h_{k-1}^2) \quad (25)$$

$$D_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} \bar{Q}_{ij}^k z^2 dz = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n \bar{Q}_{ij}^k (h_k^3 - h_{k-1}^3) \quad (26)$$

Where $i, j = 1, 1; 1, 2; 2, 2; 1, 6; 2, 6; 6, 6$

It has been assumed that the various defects cause a crack formation on the composite plate. The finite element method is used to design the crack in the structure. This method is similar to the extended finite element method. The creation of cracks in the finite element method is basically the disruption of the unity of the structure assuming that there is a crack in a certain area of the composite plate.

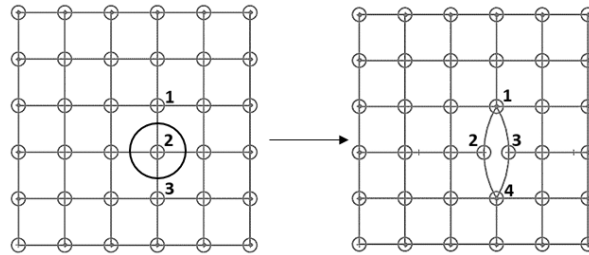


Figure 4. Finite element model converts into crack finite element model

According to this theory, firstly, the finite element method is applied to the composite plate. The composite plate is divided into elements appropriate to the shape of the composite plate and these elements are connected to each other at certain points known as nodes. As shown in figure 4, the node in the circle and the four elements that contact this node are removed from the composite plate. And then, two nodes and four elements are added to this removed region. Consequently, a void is created in the structure by using the finite element method and performing these operations. In this way, a cracked effect is achieved in the composite plate.

III. THE STABILITY THEORY

Complex structures are subjected to dynamic loads and the problem of elastic instability has arisen in complex structures. Stability formulations have been developed for the elements (such as plates, beams and bars) of the complex structure to prevent these problems. Stability problems can be defined by using energy conservation law [21].

Element geometric stiffness $[K_g]^e$, element elastic stiffness $[K_e]^e$, element mass matrix $[M]^e$ and displacement matrix $\{q\}$ are associated with each other using the following energy equations.

The potential energy of the system;

$$U = \frac{1}{2} \{q\}^T [K_e]^e \{q\} \quad (27)$$

The strain energy of the external forces

$$\Lambda = \frac{1}{2} \{q\}^T [K_g]^e \{q\} \quad (28)$$

The kinetic energy of the system;

$$V = \frac{1}{2} \{\dot{q}\}^T [M]^e \{\dot{q}\} \quad (29)$$

The dynamic response of a plate for a conservative system can be formulated by means of Lagrange's equation of motion in which the external forces are expressed in terms of time-dependent potentials, and then performing the required operations the entire system leads to the governing matrix equation of motion.

Mass and stiffness matrices of each plate element are used to form global mass matrix $[M]$, global geometric stiffness matrix $[K_g]$, global elastic stiffness matrix $[K_e]$

$$[M]\{\ddot{q}\} + [K_e]\{q\} - N_x [K_g]\{q\} = 0 \quad (30)$$

The periodic force is

$$N_x = N_s + N_d \theta(t) \quad (31)$$

The static and time dependent components of the load can be represented as a fraction of the fundamental static buckling load N_{cr} , and periodic force is rewritten $N_x = \alpha N_{cr} + \beta N_{cr} \theta(t)$ equation (30) becomes [9]

$$[M]\{\ddot{q}\} + \left[[K_e] - \alpha N_{cr}[K_{g_s}] - \beta N_{cr} \vartheta(t)[K_{g_d}] \right] \{q\} = 0 \quad (32)$$

The periodic force is

$$N_x = N_s + N_d \cos \Omega t \quad (33)$$

Where Ω is the exciting frequency, equation (32) becomes [10]

$$[M]\{\ddot{q}\} + \left[[K_e] - \alpha N_{cr}[K_{g_s}] - \beta N_{cr} \cos \Omega t [K_{g_d}] \right] \{q\} = 0 \quad (34)$$

Bolotin proved that solutions with a period of $2T_p$ are considerably of practical importance and the boundaries of the dynamic instability regions can be determined with Equation (35).

$$\left[[K_e] - \alpha N_{cr}[K_{g_s}] \pm \frac{1}{2} \beta N_{cr}[K_{g_d}] - \frac{\Omega^2}{4} [M] \right] \{q\} = 0 \quad (35)$$

When the static and time dependent components of the loads are applied in the same manner, $[K_{g_s}]$ and $[K_{g_d}]$ will be identical. If $[K_{g_s}] \equiv [K_{g_d}] \equiv [K_g]$, in this situation equation (35) becomes

$$\left[[K_e] - (\alpha \pm \frac{1}{2} \beta) N_{cr}[K_g] - \frac{\Omega^2}{4} [M] \right] \{q\} = 0 \quad (36)$$

Equation (36) represents solutions to three related problems

1) Free vibration with ω , in case of $N_{cr} = 0$

$$[[K_e] - \omega^2 [M]] \{q\} = 0 \quad (37)$$

2) Static stability with $\alpha = 1$, $\beta = 0$ and $\Omega = 0$

$$[[K_e] - N_{cr}[K_g]] \{q\} = 0 \quad (38)$$

3) Dynamic stability when all terms are present

$$\left[[K_e] - (\alpha \pm \frac{1}{2} \beta) N_{cr}[K_g] - \frac{\Omega^2}{4} [M] \right] \{q\} = 0 \quad (39)$$

IV. RESULTS AND DISCUSSIONS

As shown in figure 5, it is assumed for the composite plate that the boundary condition of the thin plate is fixed on one side and the other sides are free. It is also assumed for the composite plate that the cantilever composite plate's length (l_p) and width (w_p) are 400 mm. The cantilever composite plate is formed four layers and each of the layer's thickness is 1 mm so that the cantilever composite plate's thickness (h) is 4 mm. The composite plates have been investigated for the five different orientation angles. The orientation angles are denoted by C1, C2, C3, C4, C5 as follows:

$$C1 = [0^\circ/0^\circ/0^\circ/0^\circ]$$

$$C2 = [0^\circ/30^\circ/-30^\circ/0^\circ]$$

$$C3 = [0^\circ/45^\circ/-45^\circ/0^\circ]$$

$$C4 = [0^\circ/60^\circ/-60^\circ/0^\circ]$$

$$C5 = [0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ]$$

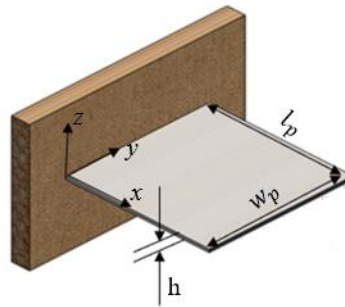


Figure 5. Cantilever composite plate

The material properties of the cantilever composite plate are given in table 1. The material properties are used for each lamina of the composite plate.

Table 1. Material properties of the composite plate

Properties	Quantities
Elastic modulus of matrix, E_m (GPa)	73
Elastic modulus of fiber, E_f (GPa)	190
Poisson's ratio of matrix, ν_m	0.33
Poisson's ratio of fiber, ν_f	0.29
Fiber volume fraction, V_f %	70
Density, ρ (kg/m ³)	8000

The first and second exciting frequency values are given approximately the same for each of five different orientations of laminates in composite plates. Therefore, C1 is examined for the composite plate in figures 6 and 7. The effect of static and dynamic load factor on the first dynamic instability region of cantilever composite plate is examined in figure 6. When the static load factor (α) is equal to 0, 0.5 and dynamic load factor (β) is equal to 1, 2, respectively, the first exciting frequencies constructing the lower border of the unstable region is equal to 0. When the static load factor (α) is equal to 0.5, the dynamic load factor (β) is bounded between the values of 0 and 1. If the static load factor (α) is equal to 0, the dynamic load factor (β) is bounded between the values of 0 and 2. Figure 7 shows the effect of static and dynamic load factor on the second dynamic instability region of cantilever composite plate. As seen from these figures, the dynamic load factor (β) increases, the unstable region widens. The unstable region of the second exciting frequency narrower than the unstable region of the first exciting frequency. When the dynamic load factor (β) is equal to 0, the first exciting frequency is less than the second exciting frequency. When the static load factor is 0, the first and second exciting frequency frequencies are higher than when the static load factor is 0.5.

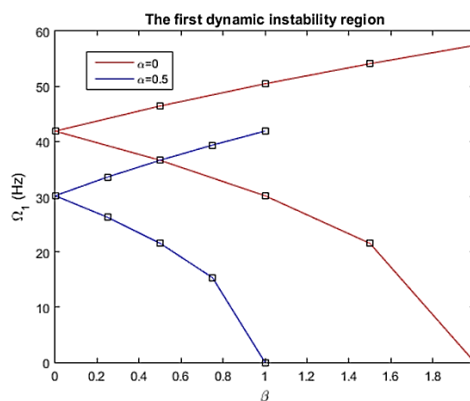


Figure 6. The effect of static and dynamic load factors on the first dynamic instability region of the composite plate [0°/0°/0°/0°]

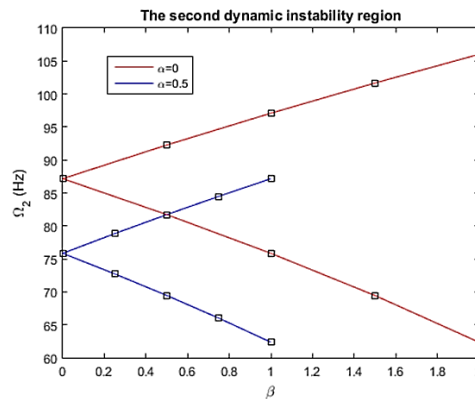


Figure 7. The effect of static and dynamic load factors on the second dynamic instability region of the composite plate $[0^\circ/0^\circ/0^\circ/0^\circ]$

As seen from figure 8, crack is located in the middle of y the axis and crack is moved along the x axis. It is assumed that the crack occurs in the plate and the crack's length is 32 mm. In this paper, the dynamic stability is analyzed for each of the different crack locations on the cantilever composite plate.

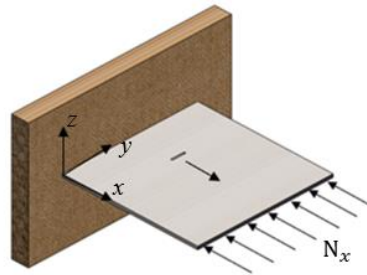


Figure 8. Cracked composite plate

Figures from 9 to 28 show the effects of the dynamic load factor, static load factor and the crack location on the first and second dynamic instability regions of cantilever composite plate, as 3D plots. The composite plates have been examined for the five different orientation angles which are denoted by C1, C2, C3, C4, C5. In these figures, the crack is located in the middle of y the axis and the crack is moved along the x axis of the cantilever composite plate. As seen from these figures, when the static load factor (α) is equal to 0.5, the dynamic load factor (β) is bounded between the values of 0 and 1. If the static load factor (α) is equal to 0, the dynamic load factor (β) is bounded between the values of 0 and 2. If the dynamic load factor (β) increases, the unstable region widens for C1, C2, C3, C4, C5. If the static load factor (α) is equal to 0, 0.5 and dynamic load factor (β) is equal to 2, 1, respectively, the first exciting frequencies constructing the lower border of the unstable region reach zero. It is observed that the crack location does not change these situations.

In these figures, the crack changes the unstable region of cantilever composite plate for C1, C2, C3, C4, C5. It is observed for C2, C3, C4, C5 orientation angles that if the crack is moved away from the fixed support on the x axis direction, the first exciting frequency increases for each static load factor (α). It is also observed that when the crack is moved away from the fixed support on the x axis direction and static load factor (α) is equal to 0, the first exciting frequency increases for C1 orientation. As seen from figure 10, if the crack is moved away from the fixed support to 100 mm on the x axis direction and static load factor (α) is equal to 0.5, the effect of crack is less on the first exciting frequency for C1 orientation. If the crack is moved away from 100 to 400 mm, the first exciting frequency increases. In these figures, if static load factor (α) is equal to 0, the effect of crack is less on the second exciting frequency. If the crack is moved away from the fixed support to 350 mm on the x axis direction and static load factor (α) is equal to 0.5, the crack decreases the second exciting frequency. When the crack is moved away from 350 to 400 mm, the effect of crack is less on the second exciting frequency for C1, C2, C3, C4, C5.

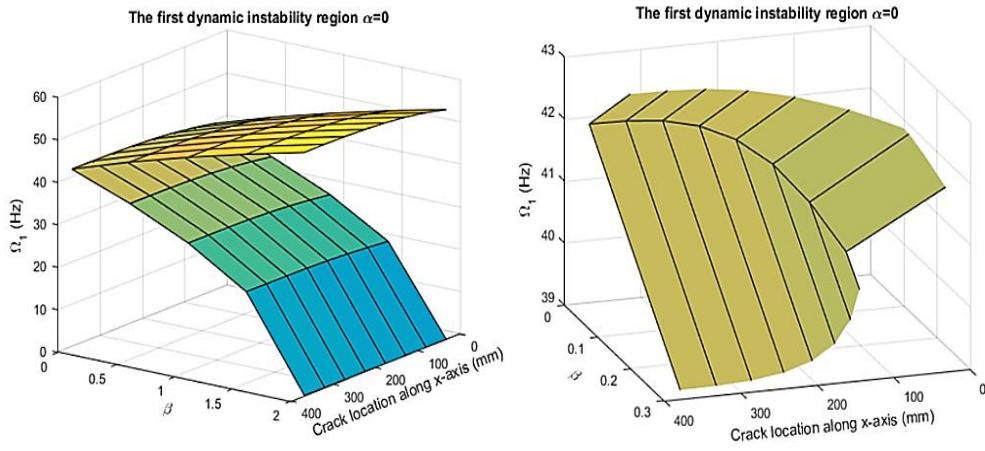


Figure 9. The effect of crack on the first dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/0^\circ/0^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0$

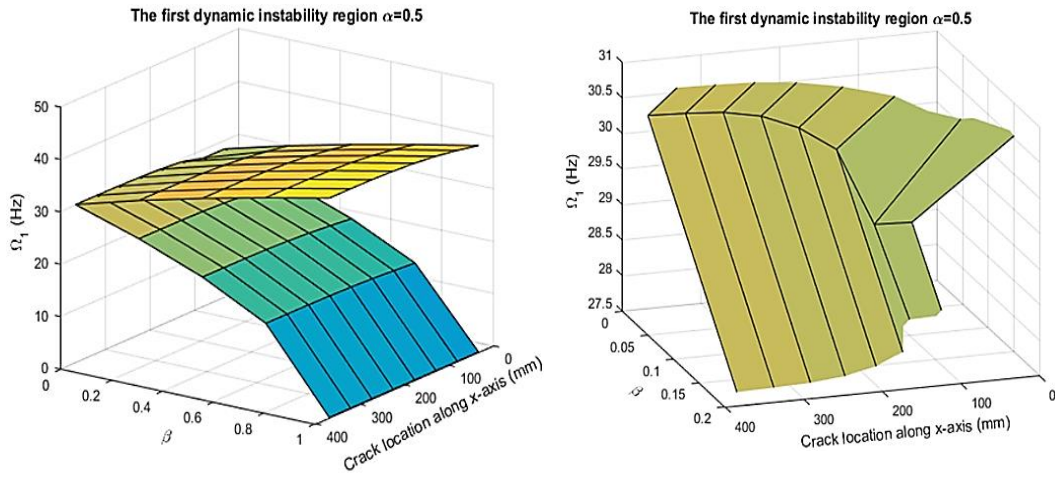


Figure 10. The effect of crack on the first dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/0^\circ/0^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0.5$

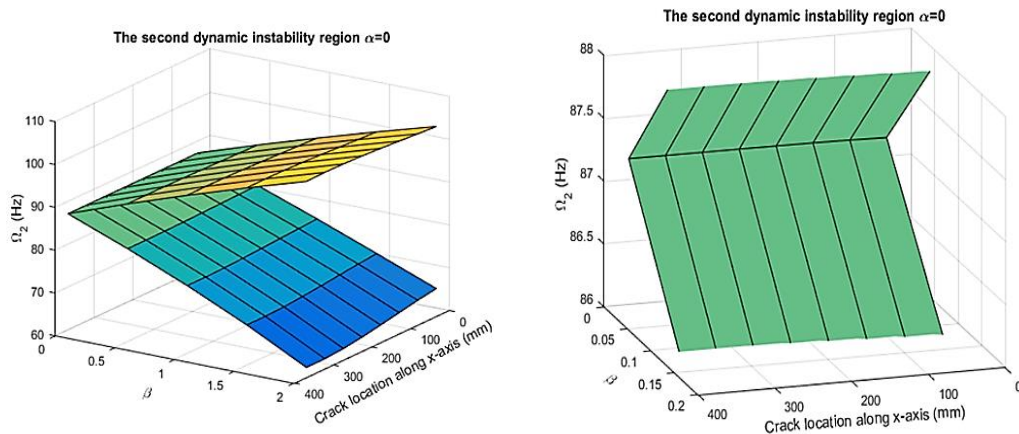


Figure 11. The effect of crack on the second dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/0^\circ/0^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0$

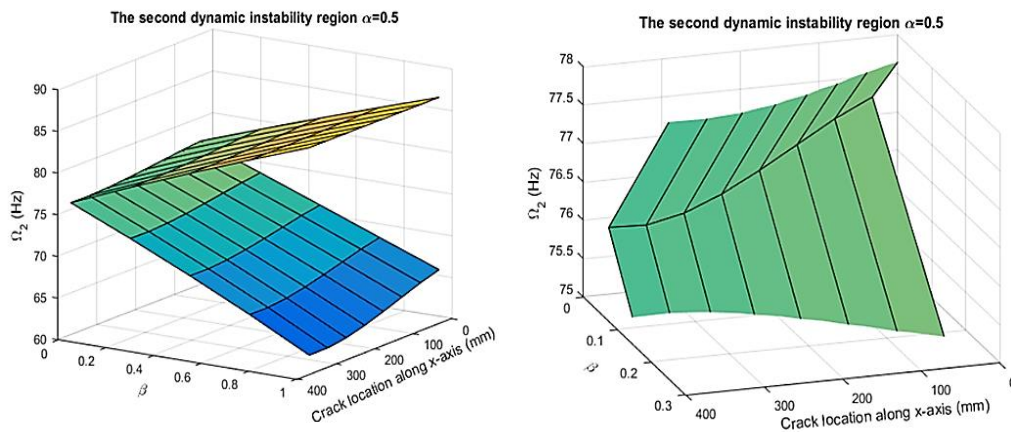


Figure 12. The effect of crack on the second dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/0^\circ/0^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0.5$

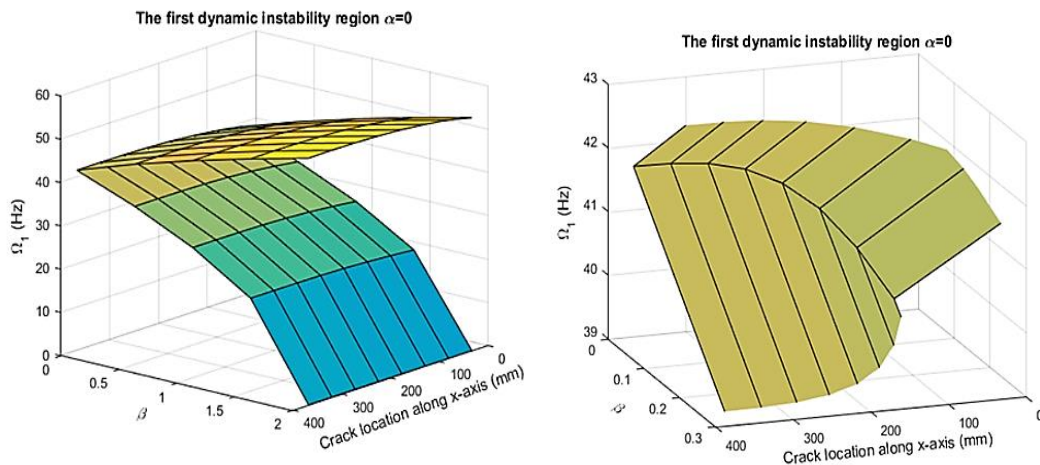


Figure 13. The effect of crack on the first dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/30^\circ/-30^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0$

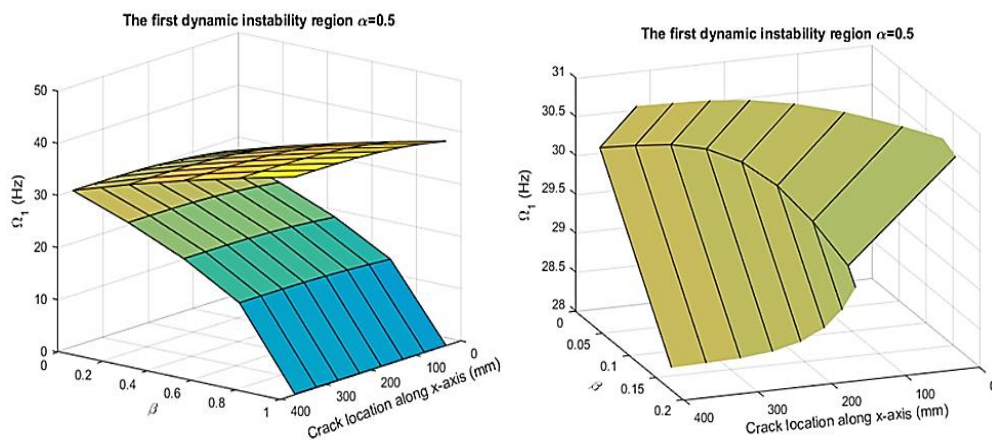


Figure 14. The effect of crack on the first dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/30^\circ/-30^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0.5$

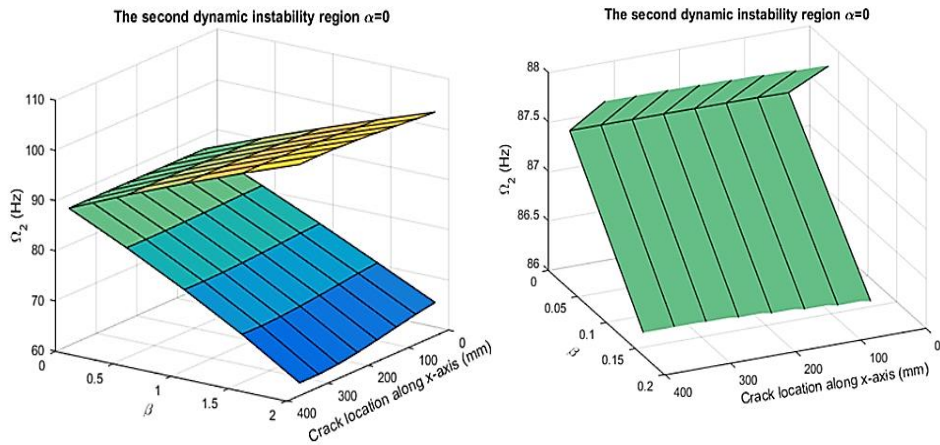


Figure 15. The effect of crack on the second dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/30^\circ/-30^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0$

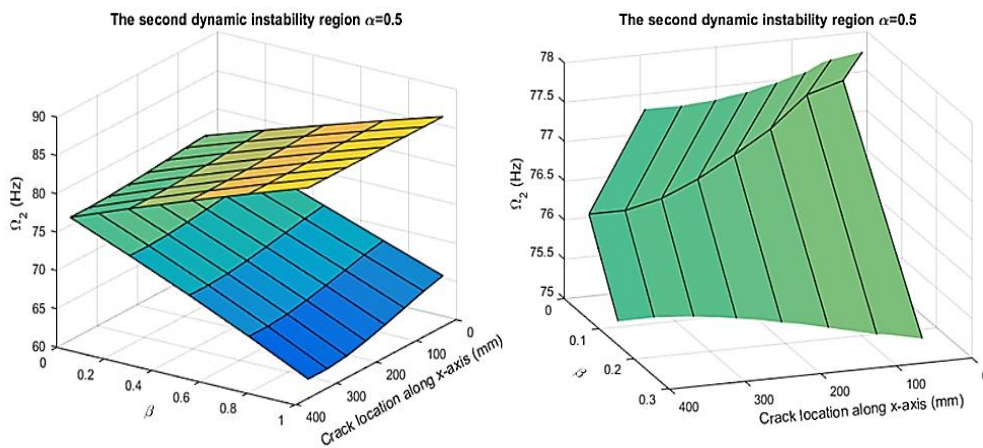


Figure 16. The effect of crack on the second dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/30^\circ/-30^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0.5$

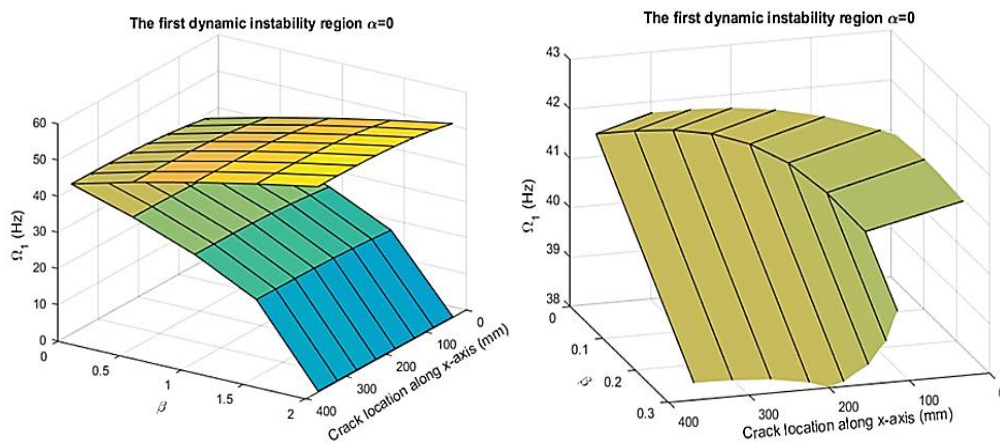


Figure 17. The effect of crack on the first dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/45^\circ/-45^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0$

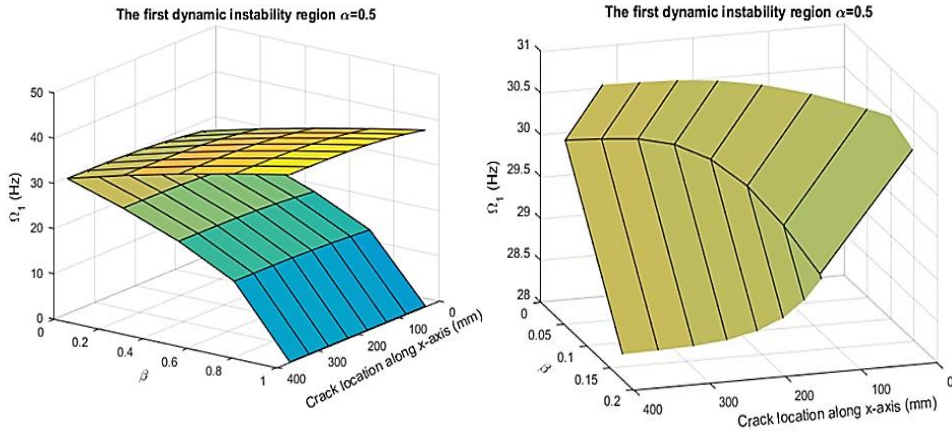


Figure 18. The effect of crack on the first dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/45^\circ/-45^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0.5$

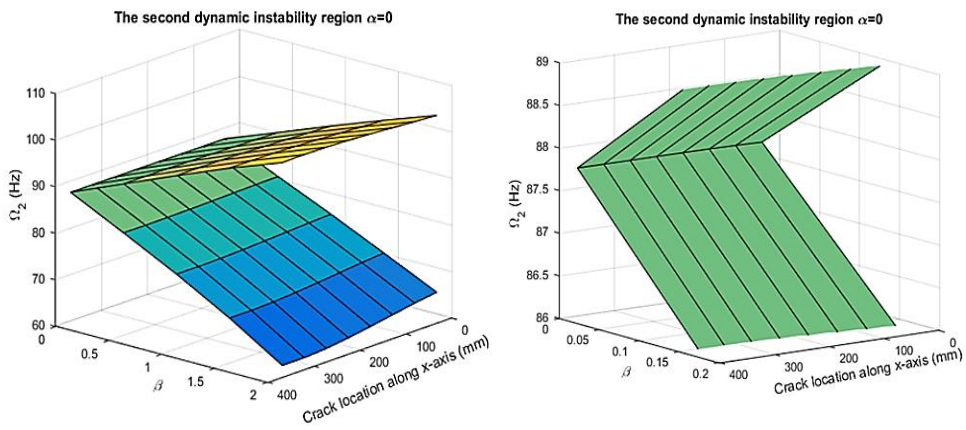


Figure 19. The effect of crack on the second dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/45^\circ/-45^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0$

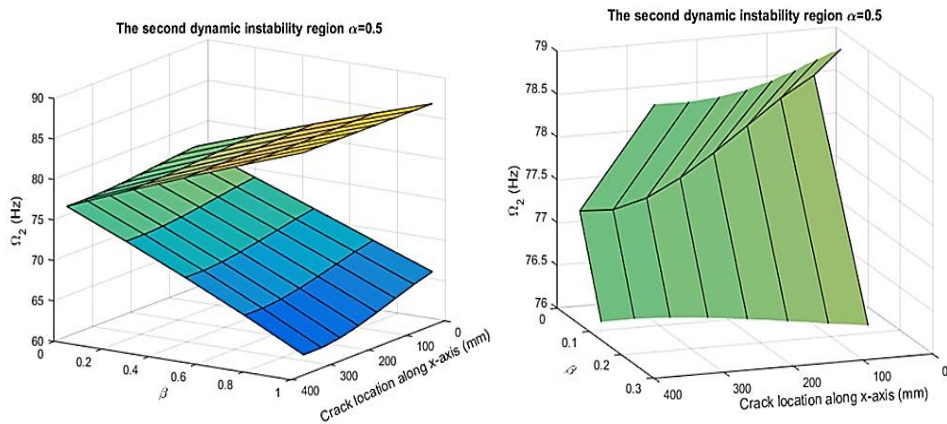


Figure 20. The effect of crack on the second dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/45^\circ/-45^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0.5$

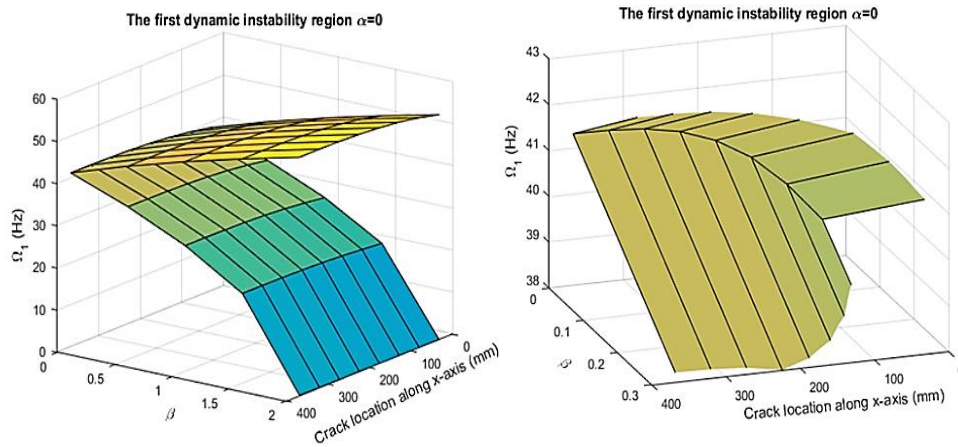


Figure 21. The effect of crack on the first dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/60^\circ/-60^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0$

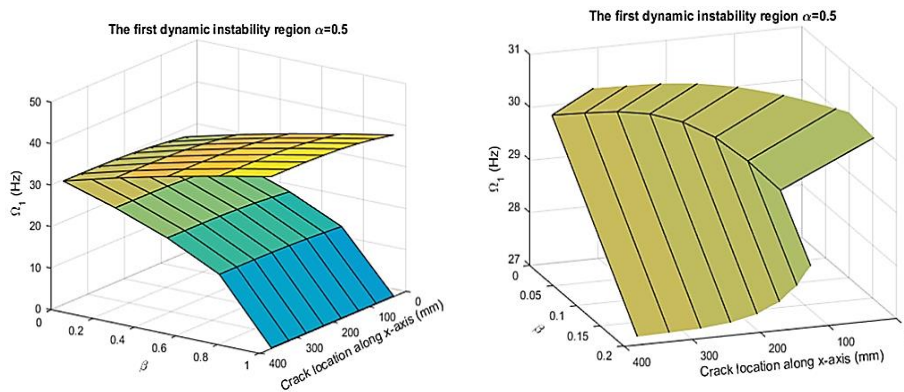


Figure 22. The effect of crack on the first dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/60^\circ/-60^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0.5$

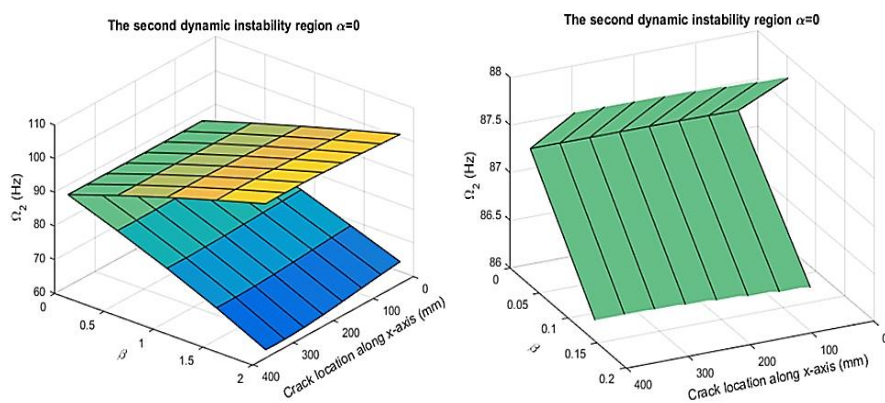


Figure 23. The effect of crack on the second dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/60^\circ/-60^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0$

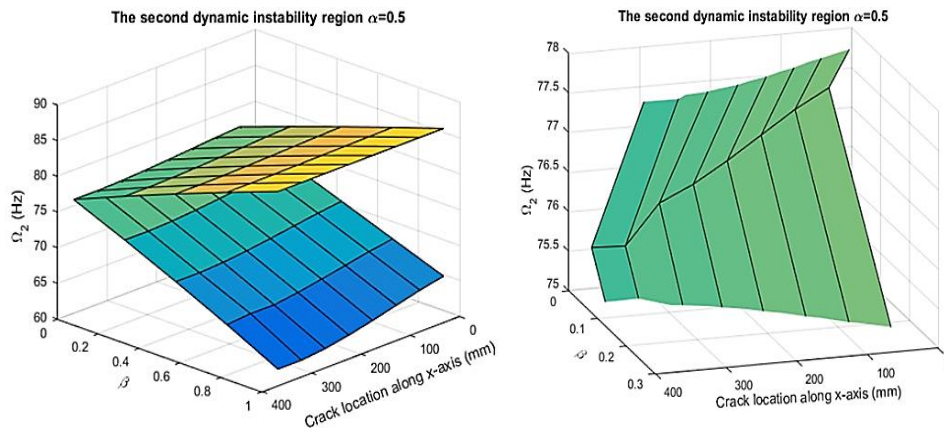


Figure 24. The effect of crack on the second dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/60^\circ/-60^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0.5$

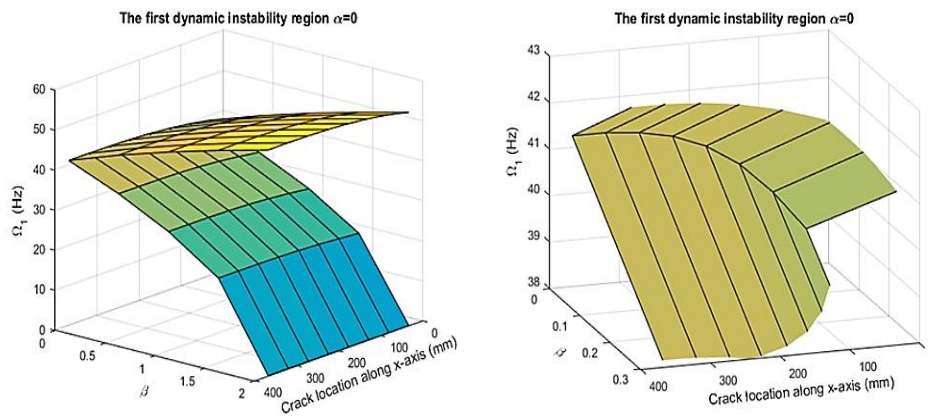


Figure 25. The effect of crack on the first dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0$

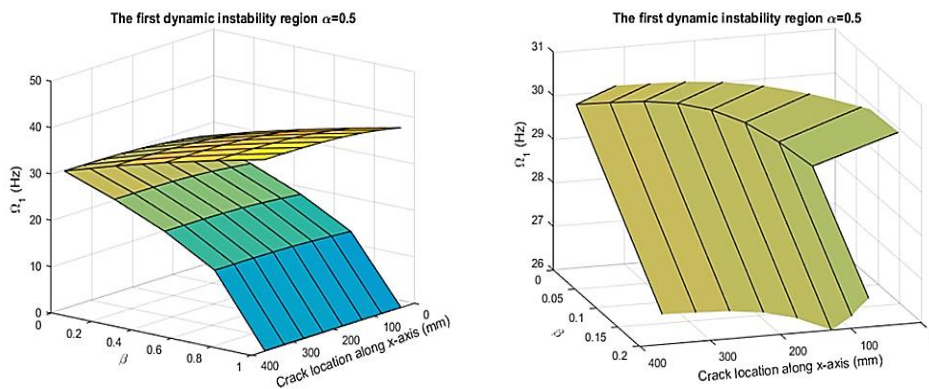


Figure 26. The effect of crack on the first dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0.5$

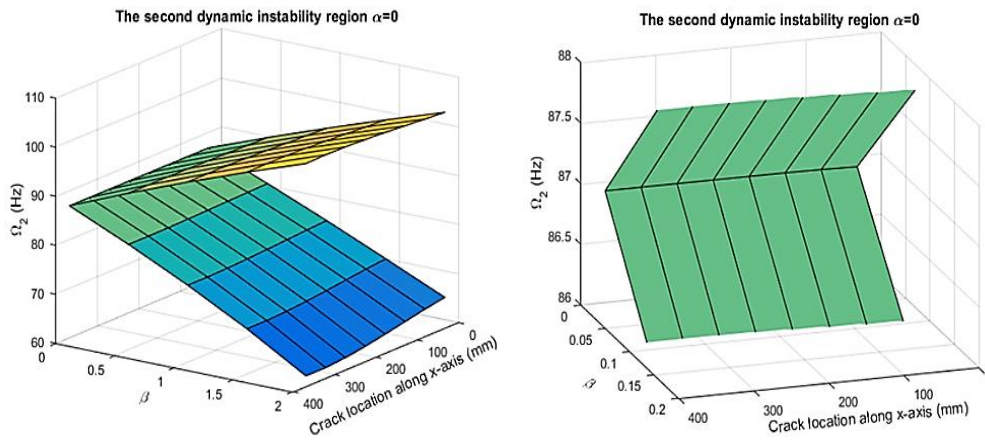


Figure 27. The effect of crack on the second dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0$

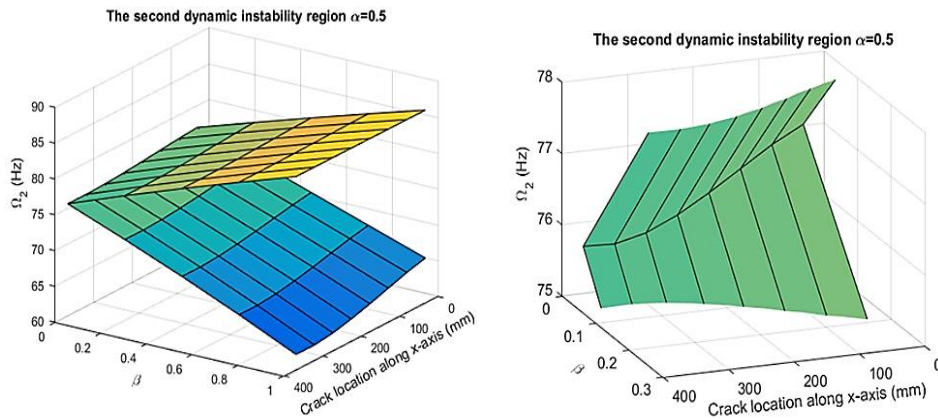


Figure 28. The effect of crack on the second dynamic instability region of the laminated composite plate $[0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ]$ for $\alpha=0.5$

V. CONCLUSIONS

In this study, the effect of crack on the free vibration, buckling and dynamic stability analysis of isotropic and composite plates for the five different orientation angles have been investigated numerically by using the finite element method. The following conclusions are drawn:

- The effect of the crack is different for each orientation angle.
- When the static load factor (α) is equal to 0, the dynamic load factor (β) is bounded between the values of 0 and 2. If the static load factor (α) is equal to 0.5, the dynamic load factor (β) is bounded between the values of 0 and 1.
- If the dynamic load factor (β) increases, the unstable region widens.
- If the crack is moved from the fixed end to the free end on the x axis direction for C2, C3, C4, C5, the first exciting frequency increases for each static load factor (α). When the crack is moved from the fixed end to free end on the x axis direction and the static load factor (α) is equal to 0, the first exciting frequency increases for C1 orientation. If the crack is moved from the free end to the fixed end on the x axis and the static load factor (α) is equal to 0.5, the effect of the crack is less at the first excitation frequency for the C1 orientation than for the other four orientations.
- If the static load factor (α) is equal to 0, the effect of the crack is less on the second exciting frequency. If the crack is moved from the fixed end to free end on the x axis direction and static load factor (α) is equal to 0.5, the second exciting frequency decreases. When the crack location is moved from the fixed end to the free end on the x axis, the effect of the crack is less on the second exciting frequency for C1, C2, C3, C4, C5.

REFERENCES

- [1] Chen, L. W., & Yang, J. Y. (1990). Dynamic stability of laminated composite plates by the finite element method. *Computers & Structures*, 36 (5), 845-851.
- [2] Reddy, J. N. (2003). *Mechanics of laminated composite plates theory and analysis 2nd ed.* CRC Press, New York, 858.
- [3] Voyiadjis, G. Z., & Kattan, P. I. (2005). *Mechanics of composite materials with MATLAB.* Springer, Berlin, 337.
- [4] Daniel, I. M., & Ishai, O. (2006). *Engineering mechanics of composite materials 2nd ed.* Oxford University Press, New York, 463.
- [5] Aggarwal, V. D. (2013). *Optimization of variable stiffness composite plate structures.* M.Sc. Thesis, San Diego State University, San Diego.
- [6] Krawczuk, M., & Ostachowicz, W. M. (1994). A finite plate element for dynamic analysis of a cracked plate. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, 115 (1-2), 67-78.
- [7] Avadutala, V. S. (2005). *Dynamic analysis of cracks in composite materials.* M.Sc. Thesis, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona.
- [8] Khoei, A. R. (2015). *Extended finite element method: theory and applications.* John Wiley & Sons, West Sussex, 584.
- [9] Timoshenko, S. P., & Gere, J. M. (1961). *Theory of elastic stability 2nd ed.* McGraw- Hill Book Company, New York, 541.
- [10] Bolotin, V. V. (1964). The dynamic stability of elastic systems. Holden-Day Inc., San Francisco, 455.
- [11] Dey, P., & Singha, M. K. (2006). Dynamic stability analysis of composite skew plates subjected to periodic in-plane load. *Thin-Walled Structures*, 44 (9), 937-942.
- [12] Ozturk, H., & Sabuncu, M. (2005). Stability analysis of a cantilever composite beam on elastic supports. *Composites Science and Technology*, 65, 1982-1995.
- [13] Goren Kiral, B., Kiral, Z., & Ozturk, H. (2015). Stability analysis of delaminated composite beams. *Composites Part B: Engineering*, 79, 406-418.
- [14] Singha, M. K., & Daripa, R. (2009). Nonlinear vibration and dynamic stability analysis of composite plates. *Journal of Sound and Vibration*, 328 (4), 541-554.
- [15] Hutt, J. M. (1968). Dynamic stability of plates by finite elements. Ph.D. Thesis, Oklahoma State University, Oklahoma.
- [16] Srivastava, A. K. L., Datta, P. K., & Sheikh, A. H. (2003). Dynamic instability of stiffened plates subjected to non-uniform harmonic in-plane edge loading. *Journal of Sound and Vibration*, 262 (5), 1171-1189.
- [17] Sahoo, R., & Singh, B. H. (2018). Assessment of dynamic instability of laminated composite-sandwich plates. *Aerospace Science and Technology*, 81, 41-52.
- [18] Radu, A. G., & Chattopadhyay, A. (2002). Dynamic stability analysis of composite plates including delaminations using a higher order theory and transformation matrix approach. *International Journal of Solids and Structures*, 39 (7), 1949-1965.
- [19] Abramovich, H. (2017). Stability and vibrations of thin-walled composite structures. *Woodhead, Cambridge*, 772.
- [20] Gu, X. J., Hao, Y. X., Zhang, W., & Chen, Jie. (2019). Dynamic stability of rotating cantilever composite thin walled twisted plate with initial geometric imperfection under in-plane load. *Thin-Walled Structures*, 144 (1).
- [21] Sayer, O. (2020). Dynamic stability of cracked composite plates, M.Sc. Thesis, Dokuz Eylul University, Izmir.

Araştırma Makalesi - Research Article

Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı ile Betonarme İstinat Duvarının Karşılaştırmalı Analizi: Kastamonu-Karabük Karayolu Örneği

Comparative Analysis of Geosynthetic Reinforced Earth Wall and Reinforced Concrete Retaining Wall: Kastamonu-Karabük Highway Case Study

Halil İbrahim Yumrutaş^{1*}, İnan Keskin², Ulaş Aydın³

Geliş / Received: 07/10/2021

Revize / Revised: 26/02/2022

Kabul / Accepted: 01/03/2022

ÖZ

Dolgu uygulaması karayolu ve demiryolu inşaatlarında sıklıkla karşılaşılan bir uygulamadır. Bu çalışmada dolgu stabilizasyonunu sağlamak amacıyla yapılan ve geleneksel sanat yapılarından olan betonarme istinat duvarı ile geosentetik (geogrid) donatılı istinat yapısı maliyet, yapım süresi, hizmete açılma süresi, estetiklik ve hizmet ömrü kriterleri dikkate alınarak karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Mukayeseler, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından uygulama yapılmakta olan aynı karayolu üzerindeki farklı iki lokasyondaki mühendislik yapıları üzerinde yapılmıştır. Birinci lokasyonda mevcut geosentetik donatılı duvar yerine betonarme istinat duvarı projelendirilirken, ikinci lokasyonda ise mevcut betonarme istinat duvarı yerine geosentetik donatılı duvar projelendirilmiştir. KGM pozları doğrultusunda maliyet analizleri yapılmıştır. Özellikle yükseklik artışına paralel olarak geosentetik donatılı duvarların maliyet açısından avantajlı duruma geçtiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca hizmet ömrü, inşa süresi, kullanıma açılma süresi ve estetiklik kriterleri açısından performansları değerlendirildiğinde ise geosentetik donatılı duvarların daha avantajlı olduğu ortaya konulmuştur. Çalışma sonuçlarından elde edilen bilgilerin, yol çalışmalarında dolgu stabilite sorunu ortaya çıkan lokasyonlarda hem performans hem de maliyet açısından hangi sanat yapısının tercih edilmesinin daha uygun olacağına karar verilmesine katkı sunulacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler- *Geosentetik Donatılı Duvar, İstinat Duvarı, Yüksek Dolgu, Sanat Yapısı*

ABSTRACT

Embankment is a frequently encountered application in road and railway constructions. In this study, reinforced concrete retaining wall, which is one of the traditional engineering structures and constructed to provide fill stabilization, and geosynthetic (geogrid) reinforced retaining structure were analyzed comparatively by considering cost, construction time, duration for service, service life, and aesthetics criteria. The comparisons were carried out on the engineering structures in two different locations on the same highway, which are under responsibility of the General Directorate of Highways (KGM). In the first location, a reinforced concrete retaining wall was designed instead of the existing geosynthetic reinforced wall, while a geosynthetic reinforced wall was

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: iyumrutas@karabuk.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-3696-7016>)

²İletişim: inankeskin@karabuk.edu.tr (<https://orcid.org/000-0003-2977-4352>)

³İletişim: ulasaydin1061@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-3194-9337>)

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Demirçelik Kampüsü, Karabük, Türkiye

designed instead of the existing reinforced concrete retaining wall in the second location. Cost analyses were made in line with KGM items. It was concluded that geosynthetic reinforced earth walls became advantageous in terms of cost, especially in parallel with the increase in height. In addition, it is revealed that geosynthetic reinforced walls are more advantageous when their performance is evaluated in terms of construction time, duration for service, service life and aesthetics criteria. It is thought that the data obtained from results of the study will contribute decision makers to decide the most appropriate engineering structure in terms of both performance and cost at the locations where filling stability problems arise in highway construction.

Keywords- Geosynthetic Reinforced Earth Wall, Retaining Wall, High Embankment, Engineering Structure

I. GİRİŞ

Doğal ya da suni yollarla oluşan şevlerin dengede kalabilmesi amacıyla arazide düşük eğimli kademelendirme yapılabileceği gibi, betonarme, taş veya toprakarme duvar da inşa edilebilir. Son zamanlarda geosentetik donatılı istinat duvarları, geleneksel betonarme ve taş duvarlara alternatif olarak geniş bir uygulama alanı bulmuştur [1]. Literatürde geosentetik donatılı istinat duvarlarının 2 ve 3 boyutlu stabilite analizlerine, tasarım parametrelerinin optimizasyonuna, sismik performans ve sismik tasarımı etkileyen parametreler üzerine, maliyet optimizasyonu üzerine, geosentetik duvar ve zemin davranışlarının nümerik analizlerine, performansını artırmaya yönelik tasarım önerilerine, laboratuvar modellerine ilişkin olarak çok sayıda çalışma yer almaktadır [2-26]. Geosentetik donatılı istinat duvarlarını sürdürülebilirlik açısından irdeleyen ve geleneksel geri dolgular yerine inşaat atıkları gibi çeşitli sürdürülebilir malzemelerin kullanımını öneren bazı çalışmalar da mevcuttur [27,28]. Bazı araştırmacılar ise geosentetik donatılı duvarların karayolu, demiryolu gibi alanlardaki çeşitli uygulamalarına dikkat çekmişlerdir [29,30]

Tekstil ürünlerin yumuşak zeminlerde karayolu inşasında bir yardımcı eleman olarak kullanımına ilişkin en eski örnekler dokuma kamış örtülerin eski Romalılar tarafından kullanılması olarak gösterilebilmektedir. Günümüz tekniklerine benzer şekilde, bu örtüler bataklık zemin üzerine serilerek üzeri taş ile kaplanmıştır. Modern anlamda membranlar kullanılarak zeminlerin güçlendirilmesi konsepti ise ilk olarak Casagrande tarafından zayıf zeminlerde yüksek mukavemetli membranların yüzeye yatay olarak serilmesi şeklinde kullanımının önerilmesiyle ortaya çıkmıştır [31]. Donatılı zemin kavramı 1966 yılında H. Vidal tarafından ortaya atılmış ve uygulama süresinin kısa oluşu, uygulama kolaylığı, çok yönlü uygulanabilmesi ve ekonomik oluşu gibi sebeplerle kabul görmüştür [32,33]. Yetmişli yılların başından beridir Dünyanın pek çok yerinde dayanma yapılarının inşasında zeminlerin güçlendirilmesi amacıyla geosentetikler kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda birçok inşaat mühendisliği probleminin çözümünde geosentetikler tüm Dünyada başarılı bir şekilde kullanım alanı bulmuş olup günümüzde kabul görmüş bir yapı malzemesi olarak dikkat çekmektedir. Geosentetiklerin kullanımıyla birlikte birçok mühendislik probleminin çözümünde ekonomik alternatifler doğmuştur. Geosentetikler zeminler, kayalar ve/veya diğer inşaat malzemeleri ile birlikte kullanılabilen sentetik esaslı malzemelere verilen genel bir isimdir. Geotekstiller, geogridler, geonetler, geomembranlar, geokompozitler geniş bir yelpazedeki sentetik ürünlerdir [31]. Geotekstiller; dolgular, sıg temeller, kaplamalı/kaplamasız karayolları, demiryolları, erozyon kontrolü, şev stabilitesi, dolgu barajlar gibi inşaat mühendisliği uygulamalarında ayırma, stabilizasyon (güçlendirme), filtrasyon, drenaj, yalıtım gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar [31,34].

Dolgu içerisinde belirli kademelerde uygulanan geosentetik donatılar (geotekstil veya geogrid), dolgunun oluşturduğu yatay zemin yüklerini, çekme kuvveti olarak üzerine almaktadır. Geosentetik donatılar, zeminin çekme direnci ve kopmadan önceki şekil değiştirme kabiliyetini artırdığı için dik dolgu şevleri yapılabilmektedir. Böylelikle 90 dereceye yakın açılarda 25-30 m yüksekliğe ulaşabilen geosentetik donatılı istinat duvarları inşa edilebilmektedir. Bu malzemelerin alternatif malzemelerin yerini almasında yer kazanma, malzeme kalite kontrolü, imalat kalite kontrolü, maliyetteki kazanımlar, teknik üstünlük, inşaat süresini kısaltma, malzemede gelişim, malzemede tedarik edilebilirlik ve çevresel duyarlılık açısından birçok üstünlük sağlaması önemli etken olmaktadır. Geosentetik dolgu duvarların günümüz şartlarında tercih edilmesinin önemli bir diğer sebebi ise inşaatı tamamlandığında duvar ön yüzüne ayrıca bir kaplama maliyeti getirmemeleridir [1,34]

Can [35], geosentetik donatılı istinat duvarlarının ön tasarımında kullanılacak ekonomik boyutlardaki donatı uzunluklarının hesaplanması amacıyla çeşitli sayısal analizler gerçekleştirmiştir. Polat [36], Geo5 ve Plaxis olmak üzere iki ayrı yazılım kullanarak farklı geosentetik donatılı istinat duvar yükseklikleri için, dolgu zemin sınıfındaki değişimin sonuçlarını araştırmıştır. Algin vd. [37], geosentetik donatılı zemin istinat duvarının ön

tasarımında kullanılabilir en ekonomik donatı uzunluğu oran aralıklarını, uluslararası rehber çalışmalarındaki öngörülerle karşılaştırarak tartışmışlardır. Çiçek vd. [38], sonlu elemanlar yöntemi ile yumuşak zemindeki bir dolguda geosentetik donatı kullanımının etkisini donatı uzunluğu, donatı sayısı ve şev açısı değişkenlerini göz önünde bulundurarak analiz etmişlerdir.

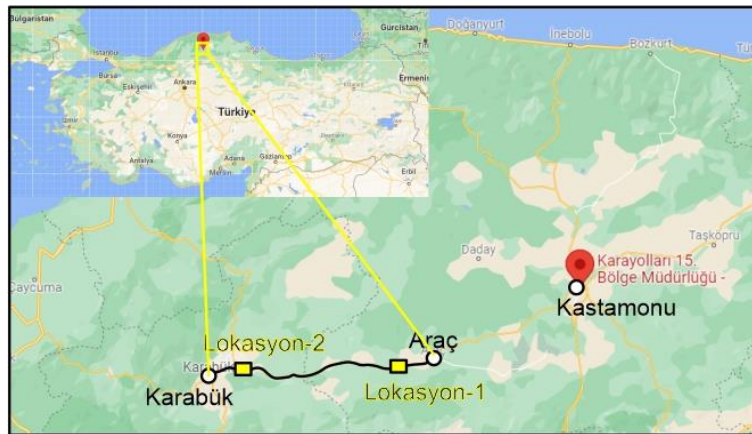
Türköz vd. [39], heyelan meydana gelen bir alanda arazi çalışmaları ve proje raporları doğrultusunda elde edilen zemin özellikleriyle analizler yapmış ve alternatif bir çözüm önerisi olarak geogrid donatılı duvar için geoteknik model ortaya koymuştur. Buna göre geogrid donatılı duvarların düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir olması ile belli miktarda deformasyona ve suyun geçişine izin veren yapısı nedeniyle heyelan bölgelerinde en uygun yöntemlerden biri olarak değerlendirilebileceğini ifade etmişlerdir.

Literatür çalışmaları değerlendirildiğinde geosentetik donatılı duvar ile geleneksel çözüm önerilerinin bir uygulama alanı içerisinde mukayese edilerek yeterince tartışılmadığı görülmekte ve bu çalışmanın literatüre bir yenilik kazandıracağı düşünülmektedir. Bu amaçla geosentetik dolgu duvarların literatürde sıklıkla anılan avantajlarının ortaya konulabilmesi adına Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından uygulaması yapılan iki farklı lokasyonda alternatif çözüm önerileri ile birlikte karşılaştırmalı analizler yapılmış ve ilgili Kamu kurumlarının karar verme süreçlerine katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Duvar yüksekliğinin artmasına bağlı olarak betonarme istinat duvarı maliyet avantajını kaybetmekte, artan duvar yüksekliği ile geosentetik donatılı duvarın ekonomikliği daha da belirginleşmektedir. Geleneksel betonarme istinat duvarı çözümlerinde belirli bir yükseklikten sonra kesitlerin oldukça büyük boyutlara ulaşması özellikle kamulaştırma maliyetinin imalat maliyetlerine kıyasla çok daha önemli olduğu şehir içi uygulamalarda geosentetik donatılı duvarların çok daha avantajlı olacağı değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra hizmet ömrü, inşaa süresi, kullanıma açılma süresi ve estetiklik gibi tali kriterler de dikkate alındığında geosentetik donatılı istinat duvarlarının geleneksel betonarme istinat duvarlarına iyi bir alternatif olabileceği ve elde edilen sonuçlar bağlamında mevcut literatürü desteklediği görülmüştür.

II. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI

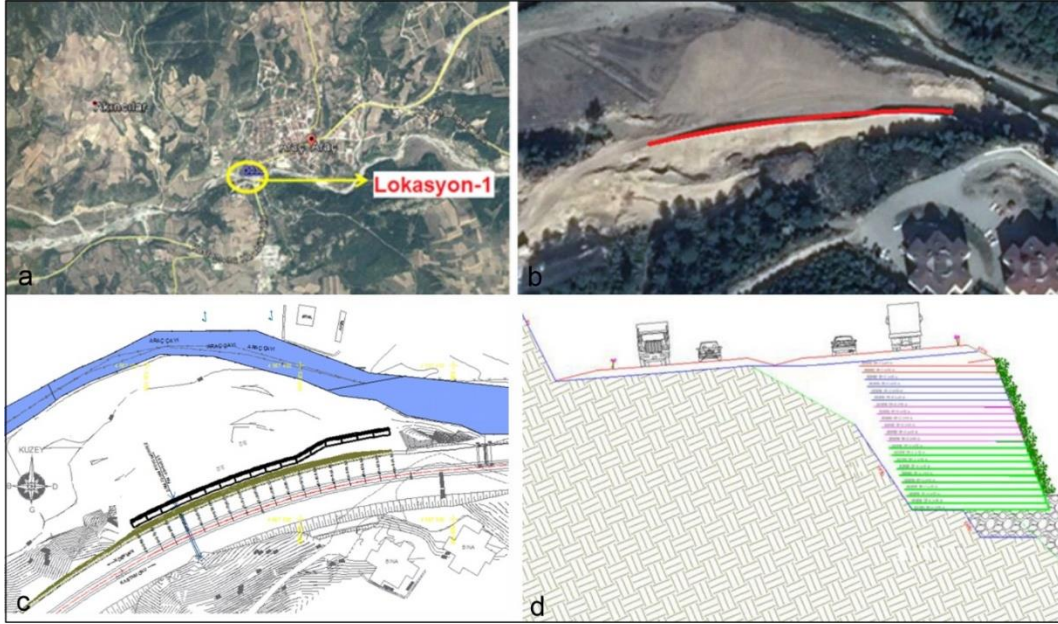
Çalışma alanı, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) sorumluluğundaki 2x2 şeritli Kastamonu-Karabük D-030 devlet yolu güzergahı üzerindedir. İncelemeye konu olan bölünmüş yola ait yer bulduru haritası Şekil 1'de yer almaktadır. Söz konusu yolun KM:39+950,00~41+260,00 arası Lokasyon 1 ve KM:39+950,00~41+260,00 arası ise Lokasyon 2 olarak adlandırılmıştır. Lokasyon 1'de uygulanan mevcut geosentetik dolgu duvar yerine betonarme istinat duvarı projelendirilmiştir. Lokasyon 2'de ise mevcut betonarme istinat duvarı yerine geosentetik dolgu duvar projelendirilmiştir. Her bir lokasyon için yapılan mevcut ve alternatif projeler dikkate alınarak her iki durum için maliyet, hizmet ömrü, inşaa süresi, kullanıma açılma süresi ve estetiklik kriterleri açısından karşılaştırmalar yapılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

A. Mühendislik Yapısı Genel Özellikler ve Değerlendirmeler (Lokasyon 1)

Çalışmaya konu olan sanat yapısının ilki Kastamonu-Karabük bölünmüş karayolu üzerinde KM:39+950,00-41+260,00 arasında kalan mevkideki Kastamonu ili, Araç ilçesi çıkış viyadüğü yaklaşımda bulunan geosentetik donatılı istinat duvarı olup uydu görüntüsü, plan paftası, duvar uygulaması proje plan paftası, proje enkesit paftası Şekil 2’de sunulmuştur. Geosentetik donatılı duvar imalatında mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 1’de sunulan 4 farklı tipte dikişli geogrid kullanılmış olup her bir tip farklı renk ile gösterilmiştir.



Şekil 2. (a) Geosentetik donatılı duvarın uydu görüntüsü, (b) Plan paftası, (c) Duvar uygulaması proje plan paftası, (d) Proje enkesit paftası

Tablo 1. Geosentetik donatılı duvar imalatında kullanılan geogrid türleri mekanik özellikleri

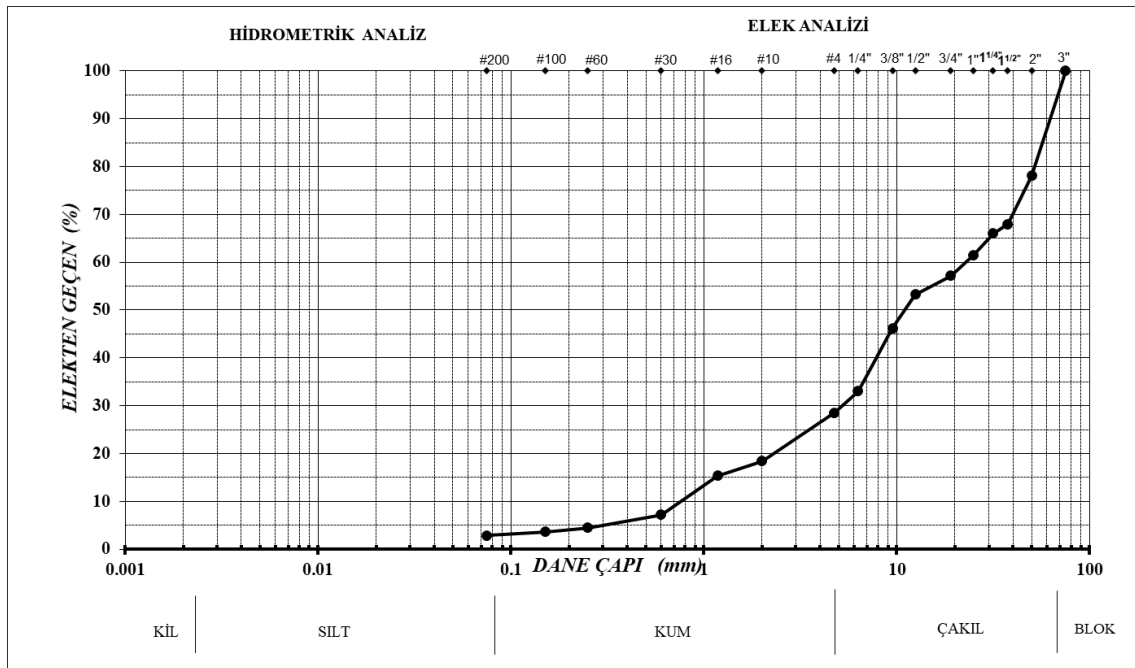
Geogrid tipi	Çekme gerilmesi (ISO EN 10319) kN/m		Birim deformasyon %		Birim ağırlık g/m ²	Göz açıklığı mm	Kullanım yeri (katmanlar)
	İmalat yönü	İmalat yönüne dik	İmalat yönü	İmalat yönüne dik			
Tip 1	35	20	13 (±2)	13 (±2)	240	20-35	En üst iki sıra
Tip 2	55	30	13 (±2)	13 (±2)	280	20-35	Dört sıra
Tip 3	80	30	13 (±2)	13 (±2)	350	20-35	Altı sıra
Tip 4	110	30	13 (±2)	13 (±2)	420	20-35	En alt on sıra

Lokasyon-1’de, bozuşma rengi gri-grimsi sarı renkli tabaka kalınlığı yer yer 1 m’ye ulaşabilen Nummulites fosili içeren yatay tabakalı kalkerler bulunmaktadır. Çatlak araları kil dolgululu olan birimin üzerinde 1 metreye yakın nebati toprak yer yer de 2,00 m’ye kadar kendi ayrışmasından türeyen yamaç molozu görünümü rezidüel zemin bulunmaktadır. Birimin süreksizlik yüzeyleri pürüzlü, sert ve dayanımlı, çoğunlukla kapalı ve devamsız ve yoğun mangan sıvalı olup yer yer limonitleşmeler gözlenmiştir. Duvarın oturduğu zemin ve dolgu malzemesine ait geoteknik parametreler zemin özelliğine göre belirlenmiş ve Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Lokasyon 1- Zemin parametreleri

Malzeme	Φ°	γ (kN/m ³)
Dolgu Malzemesi	34	19
Geri Dolgu	34	19
Temel	30	19

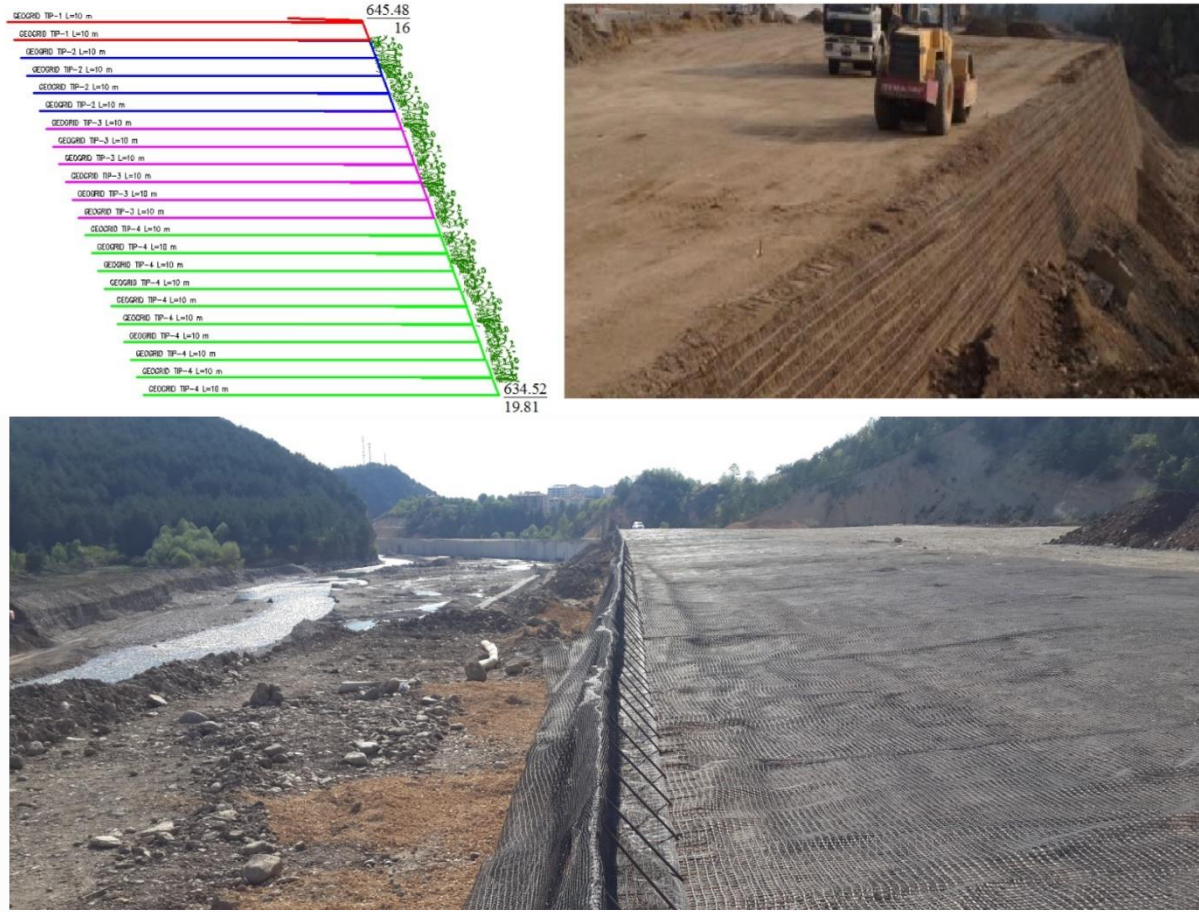
Lokasyon 1’de Geosentetik donatılı duvarda kullanılan dolgu malzemesine standart proktor deneyi, Kaliforniya taşıma oranı (Yaş CBR), likit limit (LL), plastik limit (PL), elek analizi (Şekil 3), kum konisi deneyleri yapılmıştır. Buna göre $\rho_{kmax} = 2,082 \text{ g/cm}^3$, optimum su içeriği ise %9,70, ortalama Yaş CBR değeri % 43,20 olup dolgu malzemesi GW (iyi derecelenmiş çakıl, kum-çakıl) olup non-plastiktir ve ortalama % 99,86 rölatif sıkılık oranında sıkışma elde edilmiştir.



Şekil 3. Geri dolgu malzemesi gradasyon eğrisi

Lokasyon-1 Geosentetik Donatılı Duvar Uygulama Projesi ve İmalat Metrajları

Projede temel alt kotundan itibaren kullanılan geogrid sıra sayıları ve tipleri ile geosentetik donatılı duvarın tamamlanmış hali Şekil 4’te gösterilmiştir. Geosentetik donatılı duvar yüksekliği 11,00 m ve şev eğimi 1/3 (x/y) olarak uygulanmıştır. Geogridler dolgu zemin üzerine 10,00 m uzunluğunda serilmektedir. Her bir dolgu katmanı 50 cm olacak şekilde serilerek sıkıştırılmış ve ardından geogrid 2,50 bohçalama ile bir üst sıraya katlanarak bir sonraki sıraya geçilmiş ve 22 sıra olacak şekilde imalat tamamlanmıştır.



Şekil 4. Geosentetik donatılı duvar proje enkesit paftası ve geoduvar imalat safhaları

Geosentetik şev sistemlerinin maliyetleri genel olarak m^2 birim maliyeti üzerinden hesaplanmaktadır [33]. Geoduvar yapımında kullanılan geogridler metrekare birimi üzerinden hesaplanmıştır. Geogrid, dolgu zemin üzerine 10,00 m boyunda serilmiş, ardından 2,50 m katlanarak ilk sıra tamamlanmış ve ikinci sıra dolguya geçilmiştir. Diğer tüm sıralarda da aynı şekilde uygulama yapılarak imalat tamamlanmıştır. Geosentetik donatılı duvarda kullanılan geogrid metrajı Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Lokasyon 1- Geogrid metrajı (1m uzunluk için)

Geogrid tipi	Grid boyu (m)	Katlama payı (m)	Toplam boy (m)	Birim Uzunluk (m)	Benzer (adet)	Alan (m^2)
	a	b	c=a+b	d	e	f=c x d x e
Tip 1	10,00	2,50	12,50	1,00	2	25,00
Tip 2	10,00	2,50	12,50	1,00	4	50,00
Tip 3	10,00	2,50	12,50	1,00	6	75,00
Tip 4	10,00	2,50	12,50	1,00	10	125,00
						275,00

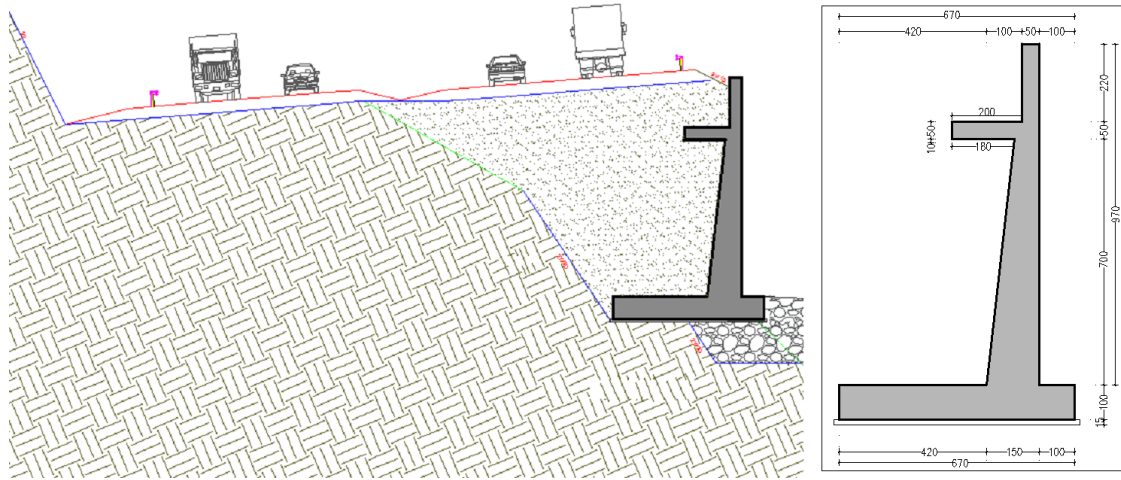
Geosentetik donatılı duvarın geogrid malzemesi dışındaki iş kalemleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Geosentetik donatılı duvar için önceden yapılan kazı ve sonrasında yapılan dolgular uygulama projesi üzerinden alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu bulunan metrajlar ve birim uzunluk (1 m) için hesaplanan keşif bedelleri Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 4. Geosentetik duvar metraj ve keşif özeti (1m uzunluk için)

Poz No	İmalat Adı	Birim	Miktar	2020 Birim Fiyat (TL)	2020 Metretül Fiyatı (TL)
KGM/Özel poz	Geogrid Tip 1	m ²	25	32,05	801,25
KGM/Özel poz	Geogrid Tip 2	m ²	50	34,76	1.738,00
KGM/Özel poz	Geogrid Tip 3	m ²	75	38,32	2.874,00
KGM/Özel poz	Geogrid Tip 4	m ²	125	53,06	6.632,50
KGM/Özel poz	Bitki tutucu	m ²	19,26	16,59	319,52
KGM/23.011/K	Çelik hasır (işçilik dahil)	ton	0,09463	4.963,60	469,71
KGM/23.014/K	Kanca demiri (işçilik dahil)	ton	0,03991	5.517,48	220,20
KGM/23.014/K	U demiri (işçilik dahil)	ton	0,03471	5.517,48	191,51
KGM/2200	Yarma kazısı	m ³	54,68	14,69	803,25
KGM/2209	Gövde dolgusu	m ³	6,85	3,31	22,67
KGM/Özel poz	Kademe dolgusu	m ³	104,95	35,11	3.684,79
					17.734,73

Geosentetik Donatılı Duvar Yerine Projelendirilen Betonarme İstinat Duvarı

Lokasoyon-1'de bulunan mevcut geosentetik donatılı duvar uzunluğu 260 metredir. Mevcut geosentetik donatılı duvar yerine projelendirilen betonarme istinat duvarı için ön boyutlar seçilip tahkikler yapıldıktan sonra Şekil 5'teki gibi h= 10,85 m yüksekliğindeki (grobeton dahil) duvar profili oluşturulmuştur. Duvar profilinin projesinde kullanılan beton sınıfı C-30/37, donatı çeliği S420 dayanım değerlerine sahiptir. Betonarme istinat duvarındaki iş kalemlerinin metrajları ve birim uzunluklar (1m) için keşif bedelleri proje üzerinden hesaplanarak Tablo 5'te özetlenmiştir. Hesaplarda KGM 2020 yılı birim maliyetleri kullanılmıştır. Hesap kolaylığı açısından ve sağlıklı bir mukayese yapılabilmesi adına metraj değerleri metretül cinsinden ifade edilerek birim maliyetler ortaya konulmuştur.



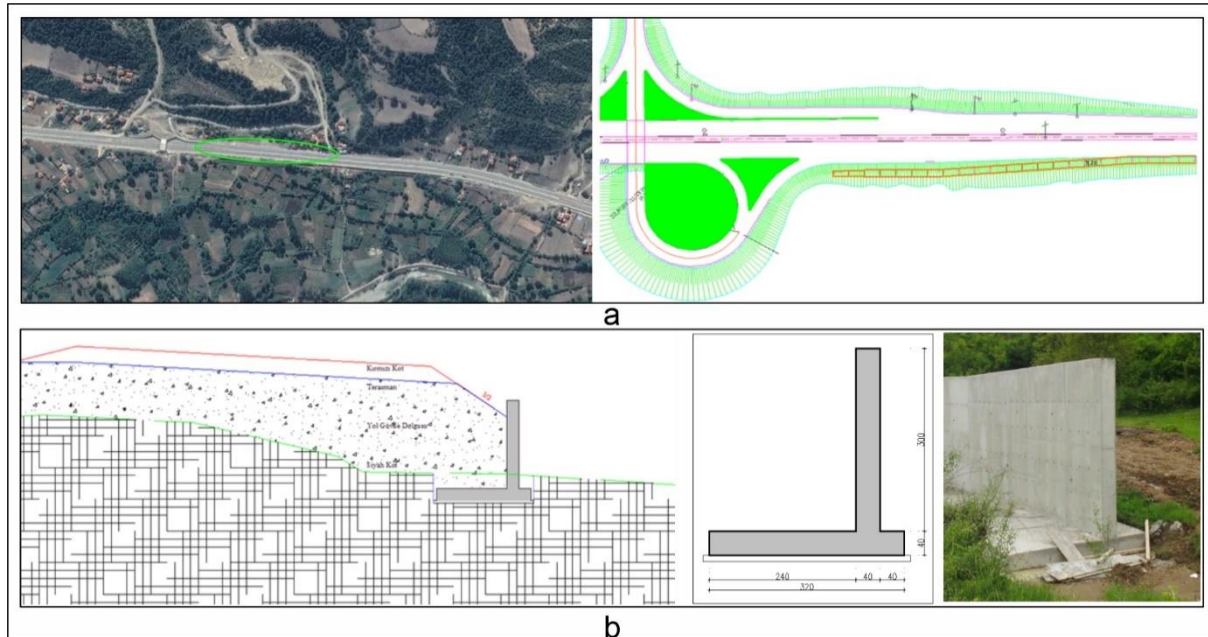
Şekil 5. Geosentetik donatılı duvar yerine projelendirilen betonarme istinat duvarı enkesit ve boyutları

Tablo 5. Betonarme istinat duvarı malzeme metraj ve keşif özeti (1m uzunluk için)

Poz No	İmalat Adı	Birim	Miktar	2020 Birim Fiyat (TL)	2020 Metretül Fiyatı (TL)
KGM /16.100/K-1	Demirsiz grobeton (kalıp dahil)	m ³	1,290	132,66	171,13
KGM /16.130/K	Demirli beton (kalıp dahil)	m ³	16,950	283,31	4.802,10
KGM/ 23.015/K	Kalın Donatı çeliği (işçilik dahil)	ton	2,018	5.246,41	10.587,26
KGM/ 14.210	Kazı	m ³	31,470	30,40	956,69
					16.517,18

B. Mühendislik Yapısı Genel Özellikler ve Değerlendirmeler (Lokasyon 2)

Lokasyon-2 olarak adlandırılan çalışma alan Karabük–Kastamonu bölünmüş karayolu üzerinde KM:61+340,00-61+450,00 arasında kalan, Kastamonu ili, Araç ilçesi Balçık hisar mevkiinde bulunan betonarme istinat duvarı sanat yapısıdır. Duvar yüksekliği h=3,55 m (grobeton dahil) olarak uygulanmıştır. Uydu görüntüsü, proje plan paftası, proje enkesit paftası ve boyutları Şekil 6’da sunulmuştur. KM:61+340,00-61+450,00 arasında kalan betonarme istinat duvarı yerine aynı lokasyonda geosentetik donatılı duvar projelendirilip kıyaslama yapılması hedeflenmektedir.



Şekil 6.Lokasyon-2 (a) Betonarme istinat duvarı uydu görüntüsü (b) Proje enkesit paftası ve boyutları

Lokasyon-2’de, grimsi yeşil renkli kumtaşı ince taneli, katmanlı olan kumtaşlarından oluşan birimin tabaka eğimleri şev içine doğrudur. Birim seyrek, düzensiz ve devamsız eklemli olmasına rağmen kimi kesimlerde sık süreksizlik özelliklerine sahiptir. Eklem yüzeyleri pürüzlü çimento malzemesi olup dolgu malzemesi kalsiyum karbonattır. Bu birimin mevcut yol üzerinde izlenen şevleri duraylı olup yarma şevi 2/3 olarak belirlenmiştir. Bu bölgelerdeki ayrışma III-IV, dayanım IV dür.

Lokasyon-2 Betonarme Duvar Uygulaması ve İmalat Metrajları

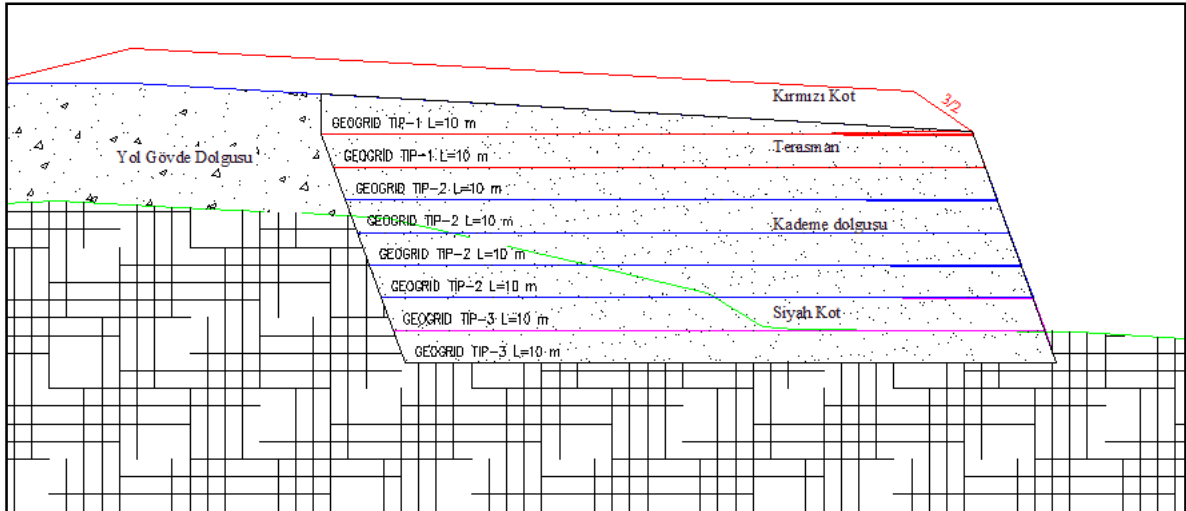
Lokasyon-2’de halihazırda imalatı tamamlanmış olan betonarme istinat duvarı, yol gövde dolgusunun stabilitesini sağlamak amacıyla imal edilmiştir. Kullanılan beton sınıfı C-30/37, donatı çeliği ise S420 MPa dayanımlarına sahiptir. Betonarme duvarın uygulama projesi üzerinden hesaplanan metrajlar ve KGM 2020 yılı birim maliyetleri kullanılarak oluşturulan birim boydaki (1m) keşif bedelleri Tablo 6’da sunulmuştur. Hesap kolaylığı açısından ve sağlıklı bir mukayese yapılabilmesi adına metraj değerleri metretül cinsinden ifade edilerek birim maliyet ortaya konulmuştur.

Tablo 6. Betonarme istinat duvarı malzeme metraj ve keşif özeti (1m uzunluk için)

Poz No	İmalat Adı	Birim	Miktar	2020 Birim Fiyat (TL)	2020 Metretül Fiyatı (TL)
KGM/16.100/K-1	Demirsiz grobeton (kalıp dahil)	m ³	0,340	132,66	45,1044
KGM/16.130/K	Demirli beton (kalıp dahil)	m ³	2,480	283,31	702,6088
KGM/23.014/K	İnce Donatı çeliği (işçilik dahil)	ton	0,129	5.517,48	711,7549
KGM/23.015/K	Kalın Donatı çeliği (işçilik dahil)	ton	0,233	5.246,41	1222,4135
KGM/14.210	Kazı	m ³	3,408	30,40	103,6032
					2.785,48

Betonarme İstinat Duvarı Yerine Projelendirilen Geosentetik Donatılı Duvar

Lokasyon-2'de betonarme istinat duvarı yerine projelendirilen geosentetik donatılı duvarda 3 ayrı tip olmak üzere toplamda 8 sıra geogrid kullanımı öngörülmüş olup Şekil 7'denkesiti sunulmuştur. Duvar yüksekliği 3,50 m olup 10,00 m boyunda serilen geogridler, 2,50 m katlanarak alttaki sıra tamamlanarak bir üst sıranın dolgusu serilerek tüm dolgu kademesinde imalat benzer şekilde tamamlanmıştır. Geosentetik donatılı duvar temel kazıları serbest kazı durumu oluşturdukları için, KGM poz sisteminde yarma kazısı olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 7. Betonarme istinat duvarı yerine projelendirilen geosentetik donatılı duvar enkesiti

Lokasyon-2 Geogridlerin Mekanik Özellikleri

Geosentetik donatılı duvar imalatında mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 7’de sunulan 3 farklı tipte dikişli geogrid kullanılmış olup her bir tip farklı renk ile gösterilmiştir.

Tablo 7. Geosentetik donatılı duvar imalatında kullanılan geogrid türleri mekanik özellikleri

Geogrid tipi	Ham mad de	Çekme gerilmesi (ISO EN 10319) kN/m		Birim deformasyon %		Birim ağırlık g/m ²	Göz açıklığı mm	Kullanım yeri (katmanlar)
		İmalat yönü	İmalat yönüne dik	İmalat yönü	İmalat yönüne dik			
Tip 1	polyester	35	20	13 (±2)	13 (±2)	240	20-35	En üst iki sıra
Tip 2	polyester	55	30	13 (±2)	13 (±2)	280	20-35	Dört sıra
Tip 3	polyester	80	30	13 (±2)	13 (±2)	350	20-35	En alt iki sıra

Lokasyon-2 Geosentetik Donatılı Duvar Uygulama Projesi ve İmalat Metrajları

İmalat sırasındaki yapım aşamaları Lokasyon-1’de verilen sıralama ile aynı olacaktır. Geosentetik donatılı duvar yapımında kullanılacak malzeme metrajları Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. Lokasyon 2- Geogrid metrajı (1m uzunluk için)

Geogrid tipi	Grid boyu (m)	Katlama payı (m)	Toplam boy (m)	Birim Uzunluk (m)	Benzer (adet)	Alan (m ²)
Tip 1	10,00	2,50	12,50	1,00	2	25,00
Tip 2	10,00	2,50	12,50	1,00	4	50,00
Tip 3	10,00	2,50	12,50	1,00	2	25,00

Geosentetik donatılı duvarın geogrid malzemesi dışındaki iş kalemleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu bulunan metrajlar ve birim uzunluk (1 m) için hesaplanan keşif bedelleri Tablo 9’da özetlenmiştir. En altta yer alan 5 sıra geogrid malzemeyi 10 m uzunluğunda yerleştirebilmek amacıyla bir miktar yarma kazısı yapılması gerekmekte olup gerekli miktarlar hesaplanarak maliyet analizine dahil edilmiştir.

Tablo 9. Geosentetik Donatılı duvar metraj ve keşif özeti (1m uzunluk için)

Poz No	İmalat Adı	Birim	Miktar	2020 Birim Fiyat (TL)	2020 Metretül Fiyatı (TL)
KGM/Özel poz	Geogrid Tip 1	m ²	25	32,05	801,25
KGM/Özel poz	Geogrid Tip 2	m ²	50	34,76	1.738,00
KGM/Özel poz	Geogrid Tip 3	m ²	25	38,32	958,00
KGM/Özel poz	Bitki tutucu	m ²	6,30	16,59	104,52
KGM/23.011/K	Çelik hasır (işçilik dahil)	ton	0,03101	4.963,60	153,92
KGM/23.014/K	Kanca demiri (işçilik dahil)	ton	0,01305	5.517,48	72,00
KGM/23.014/K	U demiri (işçilik dahil)	ton	0,01543	5.517,48	85,13
KGM/2200	Yarma kazısı	m ³	11,38	14,69	167,17
KGM/Özel poz	Kademe dolgusu	m ³	38,29	35,11	1.344,36
					5.424,35

III. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZLER

Tasarım mühendisleri, belirli bir inşaat mühendisliği probleminin çözümünde genellikle geleneksel yöntemler ile geosentetik donatılı çözümlerden hangisini tercih etmeleri gerektiği noktasında kararsızlık yaşamaktadırlar. Rasyonel bir karar vermek amacıyla aşağıda bahsedilen hususlarda bir mukayese yapmak yararlı olacaktır[40];

- Göreceli ekonomiklik
- Maliyet-performans verimliliği
- Güvenlik katsayısı
- Fizibilite
- Malzeme temini
- İnşaat süresi.

Çalışmadan elde edilen bulgular değerlendirilerek maliyet, hizmet ömrü, inşa süresi, kullanıma açılma süresi, estetik görünüm hususlarında karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiştir.

A. Maliyet Analizi

Bir geosentetik donatılı duvarın maliyeti yarma/dolgu gereksinimi, duvar/şev boyutları ve türü, mevcut zemin durumu, geri dolgu malzemesinin temini, yüzey işlemleri, kalıcı/geçici olma durumları gibi birçok faktöre bağlı olarak değişebilmektedir [33]. Durukan ve Tezcan [40], çalışmalarında, donatı tipinden bağımsız olarak geosentetik donatılı istinat duvarların özellikle 6 m'yi aşan duvar yüksekliklerinde, geleneksel betonarme duvarlardan daha ekonomik olduğunu ortaya koymuşlardır. Kamulaştırma sınırı, yüksek kamulaştırma maliyetleri, korunması gerekli kültürel varlıklar, gelecekteki uygulamalar için ayrılan rezerv alanlar gibi durumların ortaya çıkması, geosentetik donatılı duvarların kullanımını neredeyse zorunlu kılmakta ve maliyeti önemli derecede etkilemektedir. Bu sebeple bilimsel temelli bir sonuca ulaşabilmek için birçok faktörün karşılaştırmalı olarak analiz edilerek bir maliyet performansı ortaya konulması gerekmektedir [31]. Pisini vd.[28] geotekstil donatılı istinat duvarlarının daha verimli, ekonomik ve dayanıklı olduğunu ifade etmekte, Vibha ve Divya [27] ise donatılı istinat yapılarının konvansiyonel sistemlere nazaran maliyet açısından daha efektif bir alternatif olduğuna dikkat çekmektedir. Geosentetik donatılı duvarlar yüksek kalitede geri dolgu gerektirmediklerinden dolayı da ekonomik olarak kazanç sağlamaktadırlar. Ayrıca hemen hemen dik olarak elde edilebilen yapısı sebebiyle alandan tasarruf sağlayarak özellikle kent içi karayolu, demiryolu vb. uygulamalarda kamulaştırmadan kaynaklanan muhtemel yüksek bedellerin azaltılmasına katkı sağlarlar ve betonarme istinat duvarları ile birlikte şevli yüzeylere ekonomik bir alternatif olarak değerlendirilirler. Muadil sanat yapılarına oranla hemen hemen yarı fiyatına inşa edilebilirler [33].

Bu çalışmada uluslararası literatüre de konu olan maliyete ilişkin değerlendirmeler dikkate alınarak belirli bir uygulama alanında ekonomik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, geosentetik donatılı duvar ve geleneksel betonarme istinat duvarının ekonomik açıdan değerlendirilebilmesi amacıyla aynı geoteknik koşullarda benzer amaç için inşa edilecek iki farklı sanat yapısının ilk yapım maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Sanat yapılarının imalatı için gerekli malzeme/işçilik/makine gereksinimleri hesaplanarak elde edilen metraj değerleri KGM 2020 birim fiyatları ile çarpılmış ve maliyetler hesaplanmıştır. Tablo 4 ve Tablo 5'teki özet veriler ışığında Lokasyon-1'de mevcut geosentetik donatılı duvar, alternatif olarak projelendirilen h: 10,70 m yüksekliğindeki betonarme konsol istinat duvarı ile maliyet açısından birbirlerine yakın olduğu, Lokasyon-2'de ise mevcut h: 3,40 m yüksekliğindeki betonarme istinat duvarının alternatif olarak projelendirilen geosentetik donatılı duvara oranla daha ekonomik olduğu görülmektedir.

Çalışmamızda her iki lokasyonda da elde edilen maliyete ilişkin bulgular literatürü destekler nitelikte olup yükseklik artışına paralel olarak geosentetik donatılı duvarların geleneksel betonarme istinat yapılarına nazaran ekonomik açıdan daha avantajlı duruma geçmeye başladığı görülmektedir. Geosentetik dolgu duvar uygulamasının karayolu ve demiryolu inşaatlarının dolgu uygulamalarında özellikle belirli bir yükseklikten sonra ekonomik açıdan iyi bir alternatif olabileceği değerlendirilmektedir.

B. Hizmet Ömrü

Betonarme yapılar servis ömürlerine göre dört gruba ayrılmaktadır. Buna göre, birinci grup yapılar, geçici yapılar ve hizmet süreleri minimum 1-5 yıl arasında olan yapılardır. İkinci grup yapılar, değiştirilebilir taşıyıcı elemanlarla hizmet süresi minimum 5 yıl olan yapılardır. Üçüncü grup yapılar, hizmet süresi minimum 50 yıl olan bina ve kamu yapıları ve dördüncü grup yapılar ise servis ömrü minimum 100 yıl olan anıtsal binalar, köprüler ve önemli inşaat mühendisliği yapıları olarak belirlenmiştir [41]. Betonarme istinat duvarları mühendislik yapıları olarak ifade edilmekte olup hizmet süreleri muhtelif kaynaklarda 100-120 yıl olarak öngörülmektedir. [1,33,41] Geosentetik donatılı duvarlarda kullanılan geogrid ömürleri polyester malzemenin ömrü ile aynıdır. Fakat inşaat işlerinde doğada kaybolma ömrünün değil, sünme faktörünü de dikkate alarak literatürde ifade edilen güvenlik katsayılarını sağlayacak hizmet sürelerinin geçerli olacağı düşüncesiyle geoduvvarların hizmet süreleri de minimum 100-120 yıl olarak öngörülmüştür [1,33,41] Yapım hatalarının olmaması ve malzeme kalitelerinin şartnamelerdeki sınırlar içerisinde olduğu sürece her iki duvar sisteminin kullanım ömürlerinin yakın değerlerde olduğu ve birbirlerine üstünlüğü bulunmadığı değerlendirilmektedir.

C. İnşaa Süresi

Geosentetik dolgu duvarların inşası konvansiyonel muadillerine oranla nispeten daha kolay ve hızlı olmaktadır (Ingold, 1982). Geosentetik donatılı duvar imalatında son sıra geogridin dolgusu tamamlandıktan sonra yol terasman seviyesinde hazır hale gelir. Burada sıkışma testleri yapılarak şartname limitlerine bakılır. Uygunluk sağlandığı takdirde geoduvvar imalatı tamamlanmış olur. Bu aşamadan sonra üstyapı imalatına hemen geçilebilir. Bitki tutucu yüzeylerin yeşillendirilmesi herhangi bir statik öneme sahip değildir.

Betonarme istinat duvarında ise duvar arkası dolgudan önce kalıp, donatı çeliği, beton dökümü ve betonun mukavemet kazanması gibi zaman gerektiren aşamalar mevcuttur. Temel kazısının ardından, tesviye ve demirli betonu zeminden gelebilecek yeraltı sularına karşı korumak amacıyla grobeton imalatı yapılır. Sonra kalıp ve donatı çeliği imalat işlemleri bir günde tamamlanır. Daha sonra radye betonu dökümü ve ardından bir gün beklenerek perde betonu dökümü gerçekleştirilir. Uygulama alanındaki şantiye günlük raporları dikkate alındığında tüm bu işlemler 4 günde tamamlanmıştır. Lokasyon 1’de halihazırda uygulanan geosentetik donatılı duvarda ise geogrid serme, dolgu ve sıkıştırma işlemlerinin tamamı 1,5 günde tamamlanmıştır. Bu sonuçlar geosentetik donatılı duvarların imalatının geleneksel istinat yapılarına oranla daha hızlı olduğunun göstergesi olup literatürde bu yöndeki değerlendirmeleri desteklemektedir.

D. Kullanıma Açılma Süreleri

Betonarme istinat duvar imalatı tamamlandıktan sonra bir diğer aşama olan duvar arkası dolgu işlemine geçmeden önce betonun prizini tamamlaması ve belli bir dayanıma ulaşması gerekmektedir. Radye ve perde betonu dökümünü müteakip minimum yedi gün sonra, duvar arkası dolgu işlemine ve sonrasında da üstyapı imalatına geçilebilir. Uygulama alanında betonarme istinat duvarı betonundan alınan 15x15x15 cm küp numuneler, kür havuzunda 7 gün ve 28 gün bekletildikten sonra tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır. Bu deney sonucunda 7 gün sonunda betonun yaklaşık %80 dayanım değeri kazandığı görülmüştür. Alınan beton küp numuneleri KGM tarafından denetlenen laboratuvar ortamında test ile uygunluğu rapor edilmekte ve bir sonraki süreçlere geçilebilmektedir. Geleneksel istinat duvarının emniyetli beton dayanımını kazanması için gereken minimum süreler dikkate alındığında Geosentetik donatılı duvarların imalat sonrası kullanıma açılma süreleri açısından son derece avantajlı olduğu aşikardır.

E. Estetik Görünüm

Geosentetik donatılı duvarlar, ön cephe kaplama elemanlarına geometrik şekil, doku ve renk verilebildiği için estetik görünüme sahiptirler. Betonarme istinat duvarında ise soğuk derzden dolayı oluşabilecek renk/ton farklılıkları, kalıp birleşim bölgelerindeki geçiş izleri, tayrot (tierod) demirlerinin neden olduğu boşluklar, segregasyon oluşumu vb. duvar görünümünü olumsuz etkilemektedir. Söz konusu çalışma alanının da dahil olduğu proje güzergahı üzerinde 96+580.00 km’de yer alan bir betonarme istinat duvarı (Şekil 8a) ve bir geosentetik donatılı duvar (Şekil 8b) üzerinden estetik görünüme ait örneklendirme yapılmıştır.



Şekil 8. Geleneksel betonarme istinat duvarı (a) Yüzey kaplamalı geosentetik donatılı duvar(b)

Geosentetik duvar yüzeyi, uygun bir malzeme ile kaplanması ya da bitki tutucu örtüler vasıtasıyla yeşillendirilmesi neticesinde doğa ile uyumlu hale gelmekte ve geleneksel istinat yapılarına nazaran estetik görünüm kazandırmaktadır. Her ne kadar yüzeydeki çimlerin bakımı potansiyel bir sorun olarak gözükse de uygun tasarımlar ile bu sorunun üstesinden gelinebilmektedir [1,33]

Estetik görünümün subjektif bir olgu olması sebebiyle Kastamonu-Karabük yolu Km:96+580.00'da Şekil 7'de yer alan iki farklı sanat yapısının estetik açıdan değerlendirilmesine yönelik bir anket çalışması yapılmıştır. Ankete katılanlara ön yüzeyi bloklu sistem ile kaplı mevcut geosentetik donatılı duvar (Şekil 7b) ile betonarme istinat duvarı (Şekil 7a) fotoğrafları gösterilip cinsiyet, yaş, eğitim durumu, meslek bilgileri temin edilerek hangi sanat yapısını daha estetik buldukları sorulmuştur. Anket yapılan 20 kişiden 16'sı geosentetik duvarın daha estetik olduğunu ifade etmişlerdir. Elde edilen sonuç literatürdeki kaynakların geosentetik duvarın estetikliğine yönelik değerlendirmeleri ile uyum göstermektedir.

IV. SONUÇLAR

Lokasyon-1'de mevcut geosentetik donatılı duvar yerine 10,85 m yüksekliğinde betonarme istinat duvarı projelendirilmesi yapılmıştır. Burada maliyet analizleri sonucunda geosentetik donatılı duvar ile betonarme istinat duvar maliyetlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Lokasyon-2' de ise 3,55 m yüksekliğindeki mevcut betonarme istinat duvarını yerine geosentetik donatılı istinat yapısı projelendirilmiştir. Bu lokasyondaki kıyaslamada betonarme istinat duvarının ekonomik açıdan daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Her iki lokasyonda elde edilen kıyaslama sonuçları ve literatür çalışmaları ışığında ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Duvar yüksekliğinin artışına bağlı olarak betonarme istinat duvarı maliyet avantajını kaybetmekte, artan duvar yüksekliği ile geosentetik donatılı duvarın ekonomikliği daha da belirginleşmektedir. Ayrıca geleneksel istinat duvarı uygulamalarında yükseklik arttıkça duvar kesitleri artmakta ve büyük temel boyutlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Buna bağlı olarak özellikle şehir içi uygulamalarda yüksek kamulaştırma maliyetinin doğmasına sebep olmaktadır. Kamulaştırma maliyeti açısından değerlendirildiğinde de geosentetik donatılı duvarlar avantajlı olmaktadır. Betonarme istinat duvarlarında belirli bir yükseklikten sonra kesitler uygulama aşamasına geçilemeyecek kadar artmakta iken geosentetik donatılı duvarlarda bir yükseklik üst sınırı yoktur.
- Kamulaştırma sınırı, yüksek kamulaştırma maliyetleri, korunması gerekli kültürel varlıklar, gelecekteki uygulamalar için ayrılan rezerv alanlar gibi durumların ortaya çıkması, geosentetik donatılı duvarların kullanımını neredeyse zorunlu kılmakta ve imalat maliyetini ikinci planda tutmaktadır.
- Geosentetik donatılı duvarın, betonarme istinat duvarına göre temele aktardığı yük daha azdır ve dönmeye karşı büyük emniyet sağlar. Betonarme istinat duvarlarının arka dolgu işlemi tamamlandıktan sonra zamanla oturma problemlerinin oluşması muhtemeldir. Uzun vadeli performans açısından değerlendirildiğinde de geosentetik donatılı duvarların daha avantajlı olduğu düşünülmektedir.
- Yatay kurplarda teşkil edilecek olan geleneksel istinat yapılarında donatı çeliği, beton kalıbı ve ano uzunlukları esnekliği sınırlarken, geosentetik donatılı duvarların iç ve dış kurpları kolayca dönebilecek olması geosentetik duvarları uygulama kolaylığı açısından daha avantajlı kılmaktadır.

- İnşaat işlerinde en önemli parametrelerden birisi zamandır. Hem imalatın tamamlanması hem de imalat sonrası hizmete alınabilmesi için geçen süre oldukça önem arz etmektedir. Geosentetik donatılı duvarların imalatı ve imalat sonrası hizmete alımı, betonarme istinat duvarlarına göre çok daha hızlıdır. Hizmet ömrü açısından değerlendirildiğinde ise her iki sanat yapısının da benzer sürelerde hizmet verebileceği değerlendirilmektedir.
- Geosentetik donatılı duvar kullanımındaki ekipmanlar, geleneksel betonarme istinat duvarına göre daha azdır. Her ekipman bakım, onarım ve operatör maliyeti doğuracağından geosentetik donatılı duvar kullanımı ekonomik açıdan daha avantajlı hale gelmektedir.
- Özellikle şehir içi uygulamalarda görsellik önemli bir etkidir. Geosentetik duvarların ön cephe elemanlarına geometrik şekil, doku, renk verilebilmesi veya doğaya uyumlu bitkisel peyzaj uygulamaları yapılabilmesi önemli bir avantajdır.

Ayrıca benzer çalışmanın farklı yükseklikler dikkate alınarak tekrarlanması ile söz konusu mühendislik yapıları için optimum yükseklik/maliyet performans oranının elde edilmesine katkı sağlanacağı değerlendirilmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Polat Yol AŞ'ye çalışma kapsamında bilgi ve belge desteklerinden dolayı teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- [1] Aydın, U. (2019). Yüksek dolgularda geo-sentetik donatılı duvar ile hafifletme konsollu betonarme istinat duvarının kıyaslanması (Kastamonu-Karabük Yolu örneği), *Karabuk University*.
- [2] Manahiloh, K. N., Nejad, M. M., & Momeni, M. S. (2015). Optimization of Design Parameters and Cost of Geosynthetic-Reinforced Earth Walls Using Harmony Search Algorithm, *International Journal Of Geosynthetics And Ground Engineering*, 1(2), 1–12 (2015).
- [3] Vahedifard, F., Leshchinsky, B. A., Sehat, S., & Leshchinsky, D. (2014). Impact of Cohesion on Seismic Design of Geosynthetic-Reinforced Earth Structures, *Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering*, 140 (6).
- [4] Basudhar, P. K., Vashistha, A., Deb, K., & Dey, A. (2007). Cost Optimization of Reinforced Earth Walls", *Geotechnical And Geological Engineering*, 26(1), 1–12.
- [5] Gaudio, D., Masini, L., & Rampello, S. (2018). A performance-based approach to design reinforced-earth retaining walls, *Geotextiles And Geomembranes*, 46 (4), 470–485.
- [6] Kashani, A. R., Saneirad, A., & Gandomi, A. H. (2019). Optimum design of reinforced earth walls using evolutionary optimization algorithms, *Neural Computing And Applications*, 32 (16).
- [7] Gaudio, D., Masini, L., & Rampello, S. (2018). Seismic Performance of Geosynthetic-Reinforced Earth Retaining Walls Subjected to Strong Ground Motions.
- [8] Xu, J., Du, X., & Yang, X. (2019). Stability analysis of 3D geosynthetic–reinforced earth structures composed of nonhomogeneous cohesive backfills, *Soil Dynamics And Earthquake Engineering*, 126.
- [9] Han, J. & Leshchinsky, D. (2006). Stability analyses of geosynthetic-reinforced earth structures using limit equilibrium and numerical methods.
- [10] Gaudio, D., Masini, L., & Rampello, S. (2021). A Procedure to Design Geosynthetic-Reinforced Earth-Retaining Walls Under Seismic Loadings.
- [11] Yang, S., Gao, Y., Cui, K., Zhang, F., & Wu, D. (2020). "Three-dimensional internal stability analysis of geosynthetic-reinforced earth structures considering seismic loading, *Soil Dynamics And Earthquake Engineering*, 130, 105979.
- [12] Belal, A. M. (1997). Finite Element Analysis of Geosynthetic Reinforced Soil Retaining Walls Subjected to Seismic Loading, *The University of Mississippi The*.
- [13] Aroni Hesari, S., Javankhoshdel, S., Payan, M., & Jamshidi Chenari, R. (2021). Pseudo-static internal stability analysis of geosynthetic-reinforced earth slopes using horizontal slices method, *Geomechanics And*

Geoengineering, 1–26.

- [14] Akhlaghi, T. & Nikkar, A. (2014). Numerical analyses of dynamic response of geosynthetic-reinforced soil retaining wall, *Geosystem Engineering*, 17 (2), 142–149.
- [15] Rahmouni, O., Mabrouki, A., Benmeddour, D., & Mellas, M. (2016). A numerical investigation into the behavior of geosynthetic-reinforced soil segmental retaining walls, *International Journal Of Geotechnical Engineering*, 10 (5), 435–444.
- [16] Wu, J. & Pham, T. (2010). An analytical model for calculating lateral movement of a geosynthetic-reinforced soil (GRS) wall with modular block facing, *International Journal Of Geotechnical Engineering*, 4 (4), 527–535.
- [17] Mandal, J. N. & Jambale, K. S. (1991). Computer aided design of geosynthetic reinforced soil walls, *Geotechnical And Geological Engineering*, 9 (2), 139–151.
- [18] Djabri, M. & Benmebarek, S. (2016). FEM Analysis of Back-to-Back Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Walls, *International Journal Of Geosynthetics And Ground Engineering*, 2 (3), 26.
- [19] Kim, Y. S. & Won, M. S. (2005). "Deformation behaviors and finite element analyses of geosynthetic reinforced soil walls, *KSCE Journal Of Civil Engineering*, 9 (5), 363–369.
- [20] Başbuğ, E., Cengiz, C., & Güler, E. (2021). 1-g Shaking table tests to determine the behavior of geosynthetic reinforced soil walls under seismic loads, *Transportation Geotechnics*, 30.
- [21] Lu, L., Ma, S., Wang, Z., & Zhang, Y. (2021). Experimental study of the performance of geosynthetics-reinforced soil walls under differential settlements, *Geotextiles And Geomembranes*, 49 (1), 97–108.
- [22] Kilic, I. E., Cengiz, C., Edincliler, A., & Guler, E. (2021). Seismic behavior of geosynthetic-reinforced retaining walls backfilled with cohesive soil", *Geotextiles And Geomembranes*, 49 (5): 1256–1269.
- [23] Linhares, R. M., Mirmoradi, S. H., & Ehrlich, M. (2021). Evaluation of the effect of surcharge on the behavior of geosynthetic-reinforced soil walls, *Transportation Geotechnics*, 31.
- [24] Rahmaninezhad, S. M. & Han, J. (2021). Lateral facing deflections of geosynthetic-reinforced retaining walls under footing loading", *Transportation Geotechnics*, 30.
- [25] Alhadj Chehade, H., Dias, D., Sadek, M., Jenck, O., & Hage Chehade, F. (2020). Upper bound seismic limit analysis of geosynthetic-reinforced unsaturated soil walls, *Geotextiles And Geomembranes*, 48 (4), 419–430.
- [26] Balaban, E., Smejda, A., & Onur, M. İ. (2020). Geosentetik Donatılı İstinat Duvarının Analitik, Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemleri ile Performans Analizi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (2), 621–637.
- [27] Vibha, S. & Divya, P. V. (2020). Geosynthetic-Reinforced Soil Walls with Sustainable Backfills, *Indian Geotechnical Journal*, 1–10.
- [28] Pisini, S., Thammadi, S., & Shukla, S. (2021). Sustainability Study on Geosynthetic Reinforced Retaining Wall Construction, Ground Improvement and Reinforced Soil Structures, *Springer, Singapore*, 765–773.
- [29] Han, J., Jiang, Y., & Xu, C. (2017). Recent advances in geosynthetic-reinforced retaining walls for highway applications, *Frontiers Of Structural And Civil Engineering*, 12 (2), 239–247.
- [30] Tatsuoka, F., Tateyama, M., Koseki, J., & Yonezawa, T. (2014). Geosynthetic-Reinforced Soil Structures for Railways in Japan, *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 1 (1), 3–53.
- [31] Shukla, S. K. (2002). Geosynthetic applications—general aspects and selected case studies, *Geosynthetics and their Applications*, Thomas Telford publishing, 393-419.
- [32] Özkol, O. (2006). Design of Geosynthetically Reinforced Retaining Structures, PhD Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science.
- [33] Berg, R., Christopher, B. R., & Naresh C., S. (2009). Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes.
- [34] Yılmaz, R. & Eskişar, T. (2009). Usage of Geosynthetic Products to Solve Geotechnical Problems and Their

- dvantages, *İnşaat Mühendisleri Odası Yayınları*, 437–452.
- [35] Can, S. (2017). Geosentetik Donatılı İstinat Duvarlarının Numerik Analizi ve Tasarım Aşamaları, *Harran University*.
- [36] Polat, A. (2020). Parametric Analysis on Geosynthetic Reinforced Retaining Wall, *Balıkesir University*.
- [37] Algın, H. M., Can, S., & Ekmen, A. B. (2016). Geosentetik Donatılı Zemin İstinat Duvarı Tasarımında Donatı Uzunluğunun Tahmini, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 1 (2), 35–44.
- [38] Çiçek, E., Güler, E., & Yetimoğlu, T. (2015). Sedde Şevlerinin Geosentetik ile Donatlandırılmasının Stabiliteye Etkileri, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8 (1), 100–114.
- [39] Türköz, M. & Kaba, E. (2019). Heyela Stabilizasyonund Rijit Ve Geosentetik Donatili Duvarların Karşılaştırmalı Analizi Ve Bir Uygulama, *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 7 (2), 146–158.
- [40] Durukan, Z. & Tezcan, S. S. (1992). Cost analysis of reinforced soil walls, *Geotextiles And Geomembranes*, 11 (1), 29–43.
- [41] Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills.

Araştırma Makalesi - Research Article

Zeytinyağı Endüstrisi Atıksularının Kitosan ile Koagülasyonunda Box-Behnken İstatistiksel Deney Tasarım Yönteminin Uygulanması

Application of Box-Behnken Statistical Design Method in Chitosan Coagulation of Olive Mill Wastewater

Ezgi Oktav Akdemir^{1*}

Geliş / Received: 13/10/2021

Revize / Revised: 11/02/2022

Kabul / Accepted: 24/03/2022

ÖZ

Zeytinyağı üretimi birçok Akdeniz ülkesi için en önemli tarımsal faaliyetlerden biridir ve ekonomik olarak önemlidir. Zeytinyağı endüstrisi atıksuyu (karasu), zeytinyağı üretim aşamalarında meydana gelen sayısız işlemde kaynaklanan önemli bir sıvı atıktır. Karasuyun bertarafı, özellikle yüksek organik madde, askıda katı madde, fenolik bileşik içeriği ve asidik pH değeri ile Akdeniz Bölgesinde ciddi bir çevresel sorundur. Bu çalışmada karasuyun kitosan koagülasyonu ile kimyasal olarak ön arıtımı araştırılmıştır. Kitosan ile koagülasyonun Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve Toplam Katı Madde (TKM) giderme verimleri üzerindeki etkisi Box-Behnken istatistiksel deney tasarımı ile belirlenmiştir. Bu yöntem, üç bağımsız değişkenin (kitosan konsantrasyonu, yavaş karıştırma ve çökeltme süresi) tepki fonksiyonları (KOİ ve TKM verimliliği) üzerindeki etkilerini araştırmak ve KOİ giderme verimini en üst düzeye çıkaran optimum koşulları belirlemek için kullanılmıştır. Çalışma kapsamında Design Expert programı kullanılmış, gözlemlenen ve tahmin edilen KOİ ve TKM giderme verimleri arasındaki korelasyon katsayıları (R^2) sırasıyla 0.979 ve 0.9585 olarak bulunmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda en yüksek KOİ giderme veriminin (%53) elde edildiği koşullar; 600 mg/L kitosan konsantrasyonu, 45 dakika yavaş karıştırma süresi ve 60 dakika çökeltim süresi olarak bulunmuştur. TKM giderimi için en yüksek giderme verimi (%73) ise, 600 mg/L kitosan konsantrasyonu, 45 dakika yavaş karıştırma süresi ve 120 dakika çökeltim süresinde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Box-Behnken İstatistiksel Deney Tasarımı, Karasu, Kitosan, Zeytinyağı Endüstrisi*

ABSTRACT

Olive oil production is one of the most important agricultural activities and is economically important for many Mediterranean countries. Olive oil mill wastewater (OMW) is an important liquid waste resulting from the numerous processes that occur during the olive oil production stages. OMW disposal is a serious environmental problem in the Mediterranean region, especially with its high organic matter, suspended solids, phenolic compound content and acidic pH value. In this study, chemical pretreatment of OMW by chitosan coagulation was investigated. The effect of chitosan coagulation on Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Solid (TS) removal efficiencies were determined by Box-Behnken statistical experiment design. This method has been used to investigate the effects of three independent variables (chitosan concentration, slow mixing and precipitation time) on the response functions (COD and TS removal efficiencies) and to determine optimum conditions that maximize COD and TS removal efficiencies. Within the scope of the study, the Design expert program was used,

^{1*}Sorumlu yazar iletişimi: ezgi.oktav@deu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-9513-3524>)
Çevre Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir, Türkiye

and the correlation coefficient (R^2) between the observed and estimated COD and TS removal efficiencies was found to be 0.979 and 0.9585, respectively. As a result of the experimental studies, the conditions in which the highest COD removal efficiency (53%) were obtained were 600 mg/L chitosan concentration, 45 minutes slow mixing time and 60 minutes precipitation time. The highest removal efficiency (73%) for TS removal was obtained at a chitosan concentration of 600 mg/L, a slow mixing time of 45 minutes and a precipitation time of 120 minutes.

Keywords- Box-Behnken Statistical Experiment Design, Olive Mill Wastewater, Chitosan, Olive Oil Industry

I. GİRİŞ

Zeytinyağı üretimi sırasında ana ürün olan zeytinyağı dışında sıvı atık olarak karasu ve katı atık olarak da pirina açığa çıkmaktadır. Zeytinyağı değerli bir ürün olmasına rağmen, üretim sırasında yüksek miktarlarda oluşan karasu, Akdeniz ülkelerindeki en önemli çevre sorunları arasında yer almaktadır. Karasuyun kimyasal bileşimi, zeytin tipi, ağaç yaşı, yetiştirme biçimi, zeytin olgunluk seviyesi, coğrafi ve iklim koşulları, uygulanan yağ çıkarma işleminin türü, böcek ilacı ve gübre kullanımı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişir [1]. Karasu koyu kahverengi renk, karakteristik hoş olmayan koku, düşük pH, yüksek askıda katı madde içeriği, yüksek bulanıklık ve yüksek organik madde içeriğine sahiptir [2]. Genellikle biyolojik olarak bozunmaya dirençli fenolik bileşikler, polisakkaritler, şekerler, proteinler, lipitler, taninler, pektin ve organik asitler içerir. Bu maddeler çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Bu etkiler kötü kokular, su yaşamına yönelik tehditler, toprak doygunluğu, toprak kalitesindeki değişiklikler, doğal sularda renk değişimi, yüzey sularının ötrofikasyonu, yüzeysel ve yeraltı sularında kirlilik ve toksisite olarak sıralanabilir [3].

Karasuyun arıtımı amacıyla uygun ve etkili bir arıtma yöntemi oluşturmak için çeşitli yöntemler denenmiştir. Bu yöntemlerden sıklıkla kullanılanı toprak üzerinde doğrudan uygulama veya lagünlerde buharlaşmadır. Biyolojik arıtma yöntemlerinde aerobik ve anaerobik biyolojik arıtma yöntemleri ile kompostlama denenmiştir [4]. İleri oksidasyon yöntemleri arasında Fenton reaksiyonu, foto-Fenton reaksiyonu ve ozonlama karasuyun arıtımı için kullanılan diğer arıtma yöntemleridir [5,6]. Ayrıca membran filtrasyonu, koagülasyon/flokülasyon ve elektro koagülasyon gibi fiziko-kimyasal arıtma yöntemleri de yaygın olarak kullanılmaktadır [7].

Karasuyun kimyasal olarak arıtımının araştırıldığı çok sayıda çalışma mevcuttur. Alüminyum sülfat ve ferrik klorür, nişasta, kitosan ve kireç gibi farklı koagülantlar veya bunların kombinasyonlarının kullanıldığı bir çalışmada elde edilen maksimum KOİ giderme verimi % 65.5'tir [8]. Başka bir çalışmada karasuyun katyonik ve anyonik polielektrolitler, kireç ve $FeCl_3$ ile koagülasyon ve flokülasyonunu incelemiş, katı-sıvı ayrımı sağlamak için minimum pıhtılaştırıcı dozajın 2.5-3 g/L olduğu bulunmuştur. Bu dozda % 40 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve % 45 Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) giderme verimi elde edilmiştir [9]. Karasuyun arıtımında $FeSO_4$ ve Fenton prosesinin kullanıldığı bir çalışmada ardışık koagülasyon ve Fenton işlemiyle % 65.5 gibi yüksek KOİ giderme verimi elde edilmiştir [10]. Karasuyun arıtımı için yapılan bir diğer çalışmada, doğal organik bir koagülant olan kitosan ile koagülasyon ve ardından fotokataliz (PC), Fenton (F) veya foto-Fenton (PF) gibi ileri oksidasyon işlemleri uygulanmış ve karasuyun geri kazanılmasını ele almıştır. Bu çalışmada 400 mg/L kitosan dozunda ve 4.3 pH değerinde % 88 katı madde giderimi elde edilmiştir [11].

Kitosan doğal bir koagülanttir. Biyolojik olarak bozunabilmesi, yüksek adsorpsiyon kapasitesi, antibakteriyel özelliklere sahip olması, tehlikeli olmayan bir koagülant olması nedeniyle, biyoteknoloji, biyotıp, mikrobiyoloji ve eczacılık gibi alanlarda kullanılmaktadır. Organik maddelerin ve patojenlerin, askıda katı maddelerin, bulanıklığın, KOİ ve BOİ'nin gideriminde bir bakterisit ve koagülant olarak görev almaktadır [12].

Bu çalışmada kitosan, zeytinyağı üretimi atık suyundan KOİ ve TKM giderimi amacıyla koagülant olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, değişik kitosan konsantrasyonlarında hızlı karıştırma (koagülasyon), yavaş karıştırma (flokülasyon) ve çökeltim süreçlerinden oluşan jar testi deneyleri yapılmıştır. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak Box-Behnken istatistiksel deney tasarımı yöntemi kullanılmış, kitosan konsantrasyonu, yavaş karıştırma ve çökeltim sürelerinin KOİ giderme verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

A. Karasu Numunesi

Deneyler sırasında kullanılan karasu numunesi İzmir ilinde bulunan ve 3-fazlı üretim yapan bir zeytinyağı üretim tesisinden alınmıştır. Numuneler karanlık ortamda 4°C’de muhafaza edilmiştir. Ham karasu numunesine ait kirlilik karakteristikleri Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Ham karasu numunesinin karakterizasyonu

Parametre	Birim	Değer
pH	-	5.7
KOİ	mg/L	92000
TOK	mg/L	32500
TKM	mg/L	33200
Yağ-Gres	mg/L	10940

B Jar Testi Deneyleri

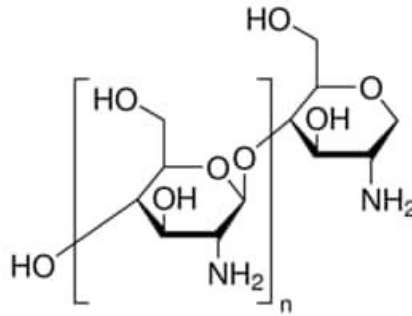
Deneyisel çalışmalarda kullanılan laboratuvar ölçekli jar testi sistemi, VelpScientifica firmasından F105A0109 koduyla JLT 6 modeli olarak temin edilmiştir. Jar testi düzeneği Şekil 1’de gösterilmektedir. Önceden belirlenen dozlarda kitosan hassas terazide tartılarak 500 ml’lik beherlere alınmış ve üzerlerine ham karasu numunesi eklenmiştir. Önce 200 rpm karıştırma hızında 3 dakika hızlı karıştırma, sonra 40 rpm karıştırma hızında farklı sürelerde yavaş karıştırma işlemi uygulanmıştır. Karıştırma işlemi bitince numuneler farklı sürelerde çökeltme işlemine tabi tutulmuştur. Çökeltme işlemi sonunda beherlerin üst kısmından pipet yardımı ile örnekler alınarak Standart Medodlara göre [13]. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve Toplam Katı Madde (TKM) deneyleri yapılmıştır.



Şekil 1. Jar testi deney düzeneği

C. Kitosan

Kitosan bol miktarda bulunan ve yenilenebilir bir kaynaktır. Biyolojik olarak parçalanabilir ve toksik değildir. Bu nedenle en çok tercih edilen katyonik doğal organik polimerdir [14]. Deneyisel çalışmalarda kullanılan kitosan yüksek molekül ağırlığına sahiptir. Sigma-Aldrich firmasından 419419 ürün koduyla elde edilmiş, genel kimyasal yapısı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Kitosanın genel kimyasal yapısı [14]

D. Box-Behnken Deneysel Tasarım Metodu

Değişkenlerin objektif veya yanıt fonksiyonları üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla deneysel tasarım yapılırken, klasik yaklaşım olarak bir kerede bir değişken değiştirilmektedir. Ancak bu yaklaşım, özellikle çok değişkenli sistemler için zaman alıcı olmaktadır. Deneylerin istatistiksel tasarımı ise, gerçekleştirilecek deney sayısını azaltır, değişkenler arasındaki etkileşimleri dikkate alır ve çok değişkenli sistemlerde çalışma parametrelerinin optimizasyonu için kullanılabilir. Box-Behnken tasarımı olarak bilinen modifiye edilmiş merkezi kompozit deneysel tasarım, az sayıda çalışma yaparak yanıt fonksiyonunun hesaplanmasını sağlar. Örneğin, üç parametrelili bir deneysel tasarım için 15 çalışma yapmak yeterli olmaktadır. Ayrıca, incelenen aralıktaki herhangi bir deney noktasında sistem performansı da tahmin edilebilmektedir [15].

Bu çalışmada üç bağımsız değişkenin yanıt fonksiyonları üzerindeki etkilerini araştırmak ve KOİ giderme verimini en üst düzeye çıkaran koşulları belirlemek için Box-Behnken istatistiksel deney tasarımı kullanılmıştır. Bağımsız değişkenler kitosan konsantrasyonu (X_1), yavaş karıştırma süresi (X_2) ve çökeltim süresidir (X_3). Bağımlı değişkenler (veya yanıt fonksiyon) ise KOİ giderme verimi (Y_1) ile TKM giderme verimidir (Y_2). Her bağımsız değişkenin düşük, orta ve yüksek seviyeleri Tablo 2'de gösterildiği gibi sırasıyla -1, 0 ve +1 olarak belirlenmiştir. Deney noktalarını belirlemek için ön denemeler yapılmış ve buradan elde edilen sonuçlardan yararlanarak kitosan konsantrasyonu (X_1) 100-600 mg/L, yavaş karıştırma süresi (X_2) 30-45 dakika, çökeltim süresi (X_3) 60-120 dakika aralığında seçilmiştir. Box-Behnken deney tasarımına göre toplamda 15 adet deney yapılmıştır.

Tablo 2. Deney noktalarının belirlenmesi

Bağımsız değişken	Sembolü	Kodlanmış hali		
		-1	0	+1
Kitosan konsantrasyonu, mg/L	X_1	100	350	600
Yavaş karıştırma süresi, dakika	X_2	30	37.5	45
Çökeltim süresi, dakika	X_3	60	90	120

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. Box-Behnken Deneysel Tasarım Metodu Sonuçları

Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin değerleri ile deneysel veriler her deney için Tablo 3'de sunulmaktadır. Merkez noktası (0, 0, 0) üç kez tekrarlanmış ve verilerin tekrarlanabilirliğini gösteren hemen hemen aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Box-Behnken istatistiksel deney tasarım metodu, yanıt fonksiyonu ile bağımsız değişkenler arasında ampirik bir ilişki sunmaktadır. Yanıt fonksiyonu (Y) ve bağımsız değişkenler (X) arasındaki matematiksel ilişki, aşağıdaki şekilde ikinci dereceden bir polinom denklemi ile tahmin edilebilir:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 \quad (1)$$

Burada Y : verim, b_0 : sabit, b_1, b_2, b_3 : doğrusal katsayılar, b_{12}, b_{13}, b_{23} : çapraz ürün katsayıları, b_{11}, b_{22}, b_{33} : ikinci dereceden katsayılarıdır.

Design Expert 7.0 regresyon programı kullanılarak bağımlı değişken için yanıt fonksiyonunun katsayıları, deneysel sonuçlar ile cevap fonksiyonları arasındaki korelasyon saptanmıştır. KOİ giderme verimi (Y_1) ve TKM giderme verimi (Y_2) için belirlenmiş katsayılarla sahip yanıt fonksiyonları aşağıda eşitlik (2) ve (3)'de verilmiştir.

$$Y_1 = 69.665 + 0.0668 X_1 + 1.10333 X_2 - 0.3075 X_3 + 0.001867 X_1X_2 - 0.0002 X_1X_3 - 0.00556X_2X_3 + 0.000014x_{1^2} + 0.0111x_{2^2} - 0.000417x_{3^2} \quad (2)$$

$$Y_2 = 210.048 + 0.07797 X_1 + 3.51655X_2 + 2.10768 X_3 + 0.002907 X_1X_2 - 0.000356 X_1X_3 - 0.00365X_2X_3 + 0.0000248 x_{1^2} + 0.03399 x_{2^2} - 0.011734 x_{3^2} \quad (3)$$

Yanıt fonksiyonundaki katsayıların işaretleri ve büyüklükleri bağımsız değişkenlerin yanıt fonksiyonu üzerindeki etkisini göstermektedir. Eşitlik (2)'ye bakıldığında zaman KOİ giderme veriminin çökeltim süresi (X_3) ile azaldığı, kitosan konsantrasyonu (X_1) ve yavaş karıştırma süresi (X_2) ile ise arttığı görülmektedir. Eşitlik (3)'de ise TKM giderme veriminin bütün bağımsız değişkenler [kitosan konsantrasyonu (X_1), yavaş karıştırma süresi (X_2), çökeltim süresi (X_3)] ile arttığı görülmektedir.

Tablo 3. Box-Behnken deney tasarımına göre kodlanmış değerler ve cevap değerleri

Deney numarası	X_1 (mg/L)	X_2 (dakika)	X_3 (dakika)	Y_1 (%)	Y_2 (%)			
1	(-1)	100	(0)	37.5	(+1)	120	48	59
2	(0)	350	(0)	37.5	(0)	90	46	46
3	(-1)	100	(-1)	30	(0)	90	53	46
4	(+1)	600	(0)	37.5	(+1)	120	42	60
5	(-1)	100	(0)	37.5	(-1)	60	48	52
6	(0)	350	(-1)	30	(+1)	120	47	57
7	(0)	350	(0)	37.5	(0)	90	46	46
8	(0)	350	(+1)	45	(-1)	60	48	59
9	(+1)	600	(+1)	45	(0)	90	49	65
10	(-1)	100	(+1)	45	(0)	90	44	44
11	(0)	350	(-1)	30	(-1)	60	47	58
12	(0)	350	(0)	37.5	(0)	90	46	46
13	(+1)	600	(0)	37.5	(-1)	60	48	63
14	(+1)	600	(-1)	30	(0)	90	44	45
15	(0)	350	(+1)	45	(+1)	120	43	61

Yanıt (KOİ ve TKM giderme verimi) için varyans analizi (ANOVA) testleri de yapılmış ve sonuçları Tablo 4 ve 5'de sunulmuştur. Tablolardan görüldüğü gibi, Model F- değeri KOİ giderme verimi için 76.19, TKM giderme verimi için ise 12.82 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler modelin istatistiki açıdan önemli olduğunu göstermektedir. 0.05'den daha küçük Prob>F değerleri belirlenen değişkenlerinin istatistiki açıdan önemli olduğunu göstermektedir. Buna dayanarak KOİ giderme verimi için X_1 , X_2 , X_3 , X_1X_2 , X_1X_3 , X_2X_3 , X_1^2 ve X_2^2 terimlerinin önemli model terimleri olduğu söylenebilir. TKM giderme verimi için ise önemli model terimleri ise X_1 , X_2 , X_1X_2 ve X_3^2 'dir. KOİ giderimi için model R^2 değeri 0.9928 olarak elde edilmiştir. Tahmini ve hesaplanmış R^2 değerleri ise 0.8842 ve 0.9797 olarak hesaplanmış olup bu iki değer birbiri ile istatistiki açıdan yeterince uyumludur. Aynı uyum 0.8837 ve 0.9585 tahmini ve hesaplanmış R^2 'ler ile TKM giderimi için de geçerlidir. Elde edilen 3 boyutlu model grafiğinin uygunluk hassasiyeti (adeq. Prec.) değerinin 4'ten büyük olması gerekmektedir. Yapılan veri analizi neticesinde bu değer KOİ giderimi için 33.994, TKM giderimi için ise 10.256 olarak belirlenmiştir. Bu nedenle tasarım alanı, sonuçların 3 boyutlu grafiksel gösterimi için uygundur.

Tablo 4. KOİ giderimi için varyans analizi (ANOVA)

Terimler	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p-değeri Prob > F
Model	102.85	9	11.43	76.19	< 0.0001
X ₁	12.50	1	12.50	83.33	0.0003
X ₂	6.13	1	6.13	40.83	0.0014
X ₃	15.13	1	15.13	100.83	0.0002
X ₁ X ₂	49.00	1	49.00	326.67	< 0.0001
X ₁ X ₃	9.00	1	9.00	60.00	< 0.0006
X ₂ X ₃	6.25	1	6.25	41.67	0.0013
X ₁ ²	2.83	1	2.83	18.85	0.0074
X ₂ ²	1.44	1	1.44	9.62	0.0268
X ₃ ²	0.52	1	0.52	3.46	0.1219
Residual	0.75	5	0.15		
Cor Toplam	103.60	14			

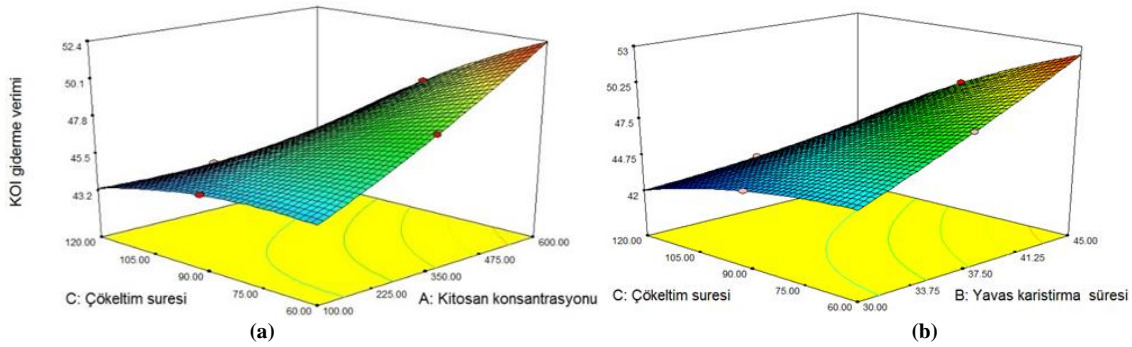
Tablo 5. TKM giderimi için varyans analizi (ANOVA)

Terimler	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p-değeri Prob > F
Model	768.77	9	85.42	12.82	0.0059
X ₁	134.28	1	134.28	20.15	0.0065
X ₂	64.57	1	64.57	9.69	0.0265
X ₃	2.04	1	2.04	0.31	0.6038
X ₁ X ₂	118.83	1	118.83	17.84	0.0083
X ₁ X ₃	28.47	1	28.47	4.27	0.0936
X ₂ X ₃	2.70	1	2.70	0.41	0.5522
X ₁ ²	8.88	1	8.88	1.33	0.3006
X ₂ ²	13.50	1	13.50	2.03	0.2169
X ₃ ²	411.76	1	411.76	61.80	0.0005
Residual	33.31	3	11.10		
Cor Toplam	802.08	14			

B. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Giderme Verimi

Yapılan deneysel çalışmalarda farklı dozlarda kitosan tartılarak 500 ml beherlere alınmış, üzerlerine ham karasu numunesi eklenmiştir. Önce 3 dakika hızlı karıştırma, sonra belirli sürelerde yavaş karıştırma ve son olarak da önceden belirlenmiş sürelerde çökeltim işlemi uygulanmıştır. Üst sudan numune alınmış, öncelikle KOİ analizi yapılarak KOİ giderme verimindeki değişiklikler incelenmiştir.

KOİ giderme veriminin kitosan konsantrasyonu ve çökeltim süresi ile değişimi Şekil 3 (a)'da görülmektedir. Yavaş karıştırma süresi 45 dakikada sabit tutulmuştur. Kitosan konsantrasyonundaki artış verimi de arttırmaktadır. Atıksuya eklenen biyolojik katyonik polimerin dozu arttıkça daha fazla katı ve organik madde çökeltilecek KOİ konsantrasyonu azalmış, dolayısıyla verim artmıştır. 100 mg/L kitosan konsantrasyonunda elde edilen KOİ giderme verimi %44 iken, 600 mg/L kitosanda verim %53'e çıkmıştır. Çökeltim süresindeki artış ise verim üzerinde çok etkili olmamıştır. Sürenin 60 dakikadan 120 dakika çıkması verimde % 1'lik bir azalmaya neden olmuştur. Dolayısıyla en yüksek KOİ giderme verimi 600 mg/L kitosan konsantrasyonunda ve 60 dakikalık çökeltim süresinde elde edilmiştir.



Şekil 3. KOİ giderme veriminin kitosan konsantrasyonu, yavaş karıştırma süresi ve çökeltim süresi ile değişimi

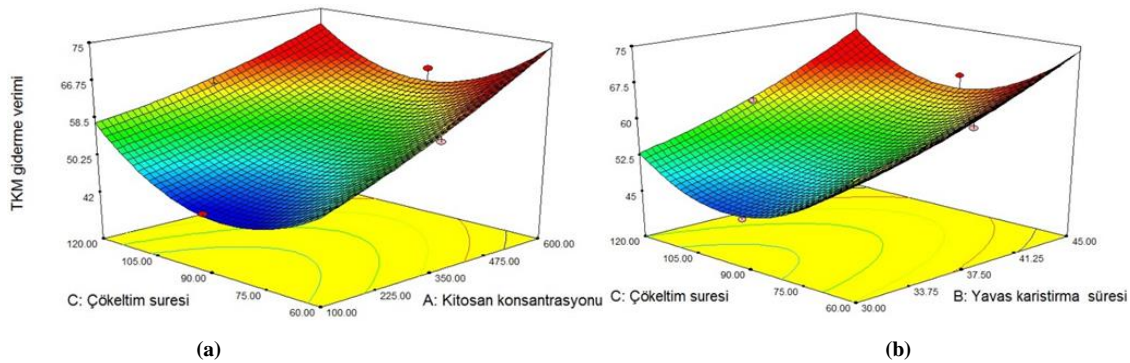
KOİ giderme veriminin yavaş karıştırma ve çökeltim süreleri ile değişimi ise Şekil 3 (b)'de verilmiştir. Kitosan konsantrasyonu en yüksek verimin elde edildiği konsantrasyon olan 600 mg/L'de sabit tutulmuştur. Yavaş karıştırma süresi arttıkça daha fazla yumak oluşumu gerçekleşmiş ve dolayısıyla daha fazla katı madde ile organik maddenin giderimi sağlanmıştır. 30 dakikalık yavaş karıştırma süresinde elde edilen KOİ giderme verimi % 42 iken bu sürenin 45 dakikaya çıkmasıyla verim de % 53'e çıkmıştır. Çökeltim süresindeki değişim ise, Şekil 3'deki grafikte benzer olarak, KOİ giderme verimini çok fazla değiştirmemiştir.

C. Toplam Katı Madde (TKM) Giderme Verimi

Deneysel çalışmaların ikinci kısmında, jar testi sonrası beherlerin üst suyundan alınan numunelerde TKM analizi yapılarak TKM giderme verimleri belirlenmiştir.

TKM giderme veriminin kitosan konsantrasyonu ve çökeltim süresi ile değişimi Şekil 4 (a)'da görülmektedir. KOİ giderme veriminde olduğu gibi deneysel çalışmaların bu aşamasında da yavaş karıştırma süresi 45 dakikada sabit tutulmuştur. Çökeltim süresinde 60 - 100 dakika aralığındaki artış verim üzerinde çok fazla etkili olmamıştır. Verim yaklaşık % 42 - 44'tür. Süre 120 dakikaya çıktığında ise verim % 58'e yükselmiştir. Kitosan konsantrasyonundaki artış da TKM giderme verimini arttırmaktadır. Karasuya eklenen kitosanın dozu arttıkça daha fazla katı madde çökelmiş ve bunun sonucu olarak TKM giderme verimi artmıştır. 100 mg/L kitosan konsantrasyonunda elde edilen TKM giderme verimi %42 iken, 600 mg/L kitosan konsantrasyonunda verim %65'e yükselmiştir. Bu çalışma sonucunda en yüksek TKM giderme verimi 600 mg/L kitosan konsantrasyonunda ve 120 dakika çökeltim süresinde elde edilmiştir.

TKM gideriminin, 600 mg/L sabit kitosan konsantrasyonunda, yavaş karıştırma ve çökeltim süreleriyle değişimi Şekil 4 (b)'de görülmektedir. 120 dakikalık çökeltim süresinde yavaş karıştırma süresi 30 dakika iken verim % 52.5'dir. Süre 45 dakikaya çıktığında verim de % 73'e yükselmektedir. Bu da elde edilen en yüksek TKM giderme verimidir.



Şekil 4. TKM giderme veriminin kitosan konsantrasyonu, yavaş karıştırma süresi ve çökeltim süresi ile değişimi

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, zeytinyağı üretimi sırasında sıvı atık olarak açığa çıkan karasudan koagülasyon-flokülasyon işlemi ile KOİ ve TKM giderimi amacıyla kitosanın kullanılabilirliği araştırılmıştır. Box-Behnken deneysel tasarım metodunun kitosan koagülasyonu ile KOİ ve TKM giderimi için istatistiksel olarak güvenilir

sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır. Yapılan varyans analizi sonunda KOİ giderme verimi için tahmini ve hesaplanmış R^2 değerleri sırasıyla 0.8842 ve 0.9797, TKM giderimi için ise 0.8837 ve 0.9585 olarak bulunmuştur. Yanıt fonksiyonundan elde edilen tahminler, kullanılan metodolojinin güvenilirliğini gösteren deneysel sonuçlarla iyi bir uyum içindedir. Bu da kullanılan yöntemin istatistiki açıdan uygun olduğunu göstermektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda KOİ giderme veriminin artan kitosan konsantrasyonu ve yavaş karıştırma süresi ile arttığı, çöktürme süresindeki artışın ise verim üzerinde etkili olmadığı görülmüştür. En yüksek KOİ giderme veriminin (%53) elde edildiği koşullar 600 mg/L kitosan konsantrasyonu, 45 dakika yavaş karıştırma süresi ve 60 dakika çöktürme süresidir. TKM giderimi için en yüksek giderme veriminin elde edildiği koşullar ise, 600 mg/L kitosan konsantrasyonu, 45 dakika yavaş karıştırma süresi ve 120 dakika çöktürme süresidir. Bu durumda elde edilen TKM giderme verimi %73 olarak bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Yay A. S. E., Oral H. V., Onay T. T., & Yenigün O. (2012). A Study on Olive Oil Mill Wastewater Management in Turkey: A Questionnaire and Experimental Approach. *Resource Conservation Recycling*, 60, 64-71.
- [2] Amor C., Lucas M. S., García J., Dominguez J. R., De Heredia J. B., & Peres J. A. (2015). Combined Treatment of Olive Mill Wastewater by Fenton's Reagent and Anaerobic Biological Process. *Journal of Environmental Science and Health: Part A*, 50, 161-168.
- [3] Ochando-Pulido J.M., & Martínez-Ferez P., (2017). Experimental Design Optimization of Reverse Osmosis Purification of Pretreated Olive Mill Wastewater. *Science of Total Environment*, 587-588, 414-422.
- [4] Paraskeva P., & Diamadopoulos E. (2006). Technologies for Olive Mill Wastewater (OMW) Treatment: A Review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81, 1475-1485.
- [5] Mantzavinos D., & Kalogerakis N. (2005). Treatment of Olive Mill Effluents: Part I. Organic Matter Degradation by Chemical and Biological Processes: An Overview. *Environmental International*, 31, 289-295.
- [6] Giannis A., Kalaitzakis M., & Diamadopoulos E. (2007). Electrochemical Treatment of Olive Mill Wastewater. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 82, 663-671.
- [7] Iakovides I. C., Pantziaros A. G., Zagklis D. P., & Paraskeva C.A. (2016). Effect of Electrolytes/Polyelectrolytes on the Removal of Solids and Organics from Olive Mill Wastewater. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 91 (1), 204-211.
- [8] Pelendridou K., Michailides M. K., Zagklis D. P., Tekerlekopoulou A. G., Paraskeva C. A., & Vayenas D. V. (2014). Treatment of Olive Mill Wastewater using a Coagulation-Flocculation Process either as a Single Step or as Post-Treatment after Aerobic Biological Treatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 89, 1866-1874.
- [9] Sarika R., Kalogerakis N., & Mantzavinos D. (2005). Treatment of Olive Mill Effluents. Part II. Complete Removal of Solids by Direct Flocculation with Polyelectrolytes. *Environmental International*, 31, 297-304.
- [10] Alver A., Bastürk E., Kılıç A., & Karatas M. (2015). Use of Advance Oxidation Process to Improve the Biodegradability of Olive Oil Mill Effluents. *Process Safety and Environmental Protection*, 98, 319-324.
- [11] Rizzo L., Lofrano G., Grassi M., & Belgiorno V. (2008). Pretreatment of Olive Mill Wastewater by Chitosan Coagulation and Advanced Oxidation Processes. *Separation and Purification Technology*, 63, 648-653.
- [12] Bergamasco R., Konradt-Moraes L. C., Vieira M. F., Fagundes-Klen M. R., & Vieira A. M. S. (2011). Performance of a Coagulation-Ultrafiltration Hybrid Process for Water Supply Treatment. *Chemical Engineering Journal*, 166, 483-489.
- [13] Rice E. W., Baird R. B., & Eaton A. D. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd Edition)*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- [14] Syafalni S., Abustan A., Zakaria S. N. F., Zawawi M. H., & Rahim R. A. (2012). Raw Water Treatment using Bentonite-Chitosan as a Coagulant. *Water Supply*, 12 (4), 480-488.
- [15] Ay F., Catalkaya E. C., & Kargı F. (2009). A statistical Experiment Design Approach for Advanced Oxidation of Direct Red Azo-Dye by Photo-Fenton Treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 162, 230-236.

Araştırma Makalesi–Research Article

Sivas İlinde Buğday, Arpa, Şeker Pancarı ve Ayçiçeği Üretimi İçin Su Ayak İzinin Hesaplanması

Calculation of Water Footprint for Wheat, Barley, Sugar Beet, and Sunflower Production in Sivas Province

Ayben Polat Bulut^{1*}, Gamze Topal Canbaz²

Geliş / Received: 15/10/2021

Revize / Revised: 18/02/2022

Kabul / Accepted: 04/03/2022

ÖZ

Artan nüfus, küresel ısınma ve sanayileşme gibi nedenlerden dolayı mevcut su kaynakları her geçen gün hızla tükenmekte ve su ihtiyacı artmaktadır. Tüm dünyada suyun önemli bir miktarı tarımsal alanlarda kullanılmaktadır. Su kaynaklarının hızla tükenmesi sonucu önemi daha da artan suyun doğru kullanımı için “su ayak izi” (SA) kavramı son yıllarda gündeme gelmiştir. Su ayak izi bir ürünü üretmek için gerekli olan su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada 2020 yılı için Sivas ilinde üretilen buğday, arpa, şeker pancarı ve ayçiçeğinin su ayak izleri hesaplanmıştır. SA hesaplamaları ile suyun daha verimli ve doğru kullanımı sağlanabilir ve ürünlerin ne kadar suya ihtiyacı olduğu belirlenerek mevcut su durumuna göre ekim-dikim yapılarak su daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilir. Yapılan çalışma sonucunda en büyük toplam SA değerine 4147 m³ ton⁻¹ ile ayçiçeği, en küçük toplam SA değerine ise 113 m³ ton⁻¹ ile şeker pancarı sahiptir. Buğday ve arpanın toplam SA büyüklükleri şeker pancarının toplam SA değerinden büyük olmasına rağmen mavi SA değerleri 0 olarak hesaplanmıştır. Bu da buğday ve arpa üretimi için yağış sularının yeterli olduğu anlamına gelmektedir.

Anahtar Kelimeler- Arpa, Ayçiçeği, Buğday, Su Ayak İzi, Şeker Pancarı

ABSTRACT

Due to reasons such as increasing population, global warming and industrialization, existing water resources are rapidly depleting and the need for water is increasing. All over the world, a significant amount of water is used in agricultural areas. The concept of “water footprint” (WF) has come to the fore in recent years for the correct use of water, which has become more important as a result of the rapid depletion of water resources. Water footprint is defined as the amount of water required to produce a product. In this study, water footprints of wheat, barley, sugar beet, and sunflower produced in Sivas province for 2020 were calculated. With WF calculations, more efficient and correct use of water can be achieved, and the water can be used more sustainably by determining how much water the products need and planting according to the current water situation. As a result of the study, sunflower has the highest total WF value of 4147 m³ ton⁻¹ and sugar beet has the smallest total WF value with 113 m³ ton⁻¹. Although the total WF values of wheat and barley were greater than the total WF values of sugar beet, the blue WF values were calculated as 0. This means that rainfall waters are sufficient for wheat and barley production.

Keywords- Barley, Sugar Beet, Sunflower, Water Footprint, Wheat

^{1*}Sorumlu yazar iletişimi: aybenpolat@cumhuriyet.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-0151-8680>)

Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye

²İletişim: gtopal@cumhuriyet.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7615-7627>)

Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye

I. GİRİŞ

Su insanların hayatta kalması, ekolojinin korunması ve toplumun gelişimi için gerekli olan bir elementtir [1]. Suya olan talep artan dünya nüfusu ve ekonomik kalkınma ile birlikte sürekli olarak artmaktadır [2]. Hem sosyoekonomik gelişme hem de iklim değişikliğinin etkisi ile su krizi tüm dünyada bir soruna dönüşmektedir [3]. Tatlı su kaynakları aşırı su tüketimi ve kirlilikten dolayı risk altındadır [4]. Tarımsal üretimin devam etmesi için su önemli temel bir kaynaktır [5].

Tarım alanları yaklaşık 1,87 milyar hektar ile dünyanın toplam buzsuz arazi alanının yaklaşık %14'ünü kaplamaktadır [6]. Tarım sektörü önemli bir su tüketicisidir ve dünyadaki su tüketiminin yaklaşık % 70' i sulama içindir [2,3]. Tarım, mevcut iklim değişikliğinden önemli ölçüde etkilenmektedir ve hasat potansiyelinin azalması sürdürülebilir verim için daha fazla su gereksinimlerine yol açabilir ve dünya çapında gıda güvenliğinin azalmasına neden olabilir [7].

Su ayak izi (SA), bir kişi, bölge veya ülke tarafından tüketilen mal ve hizmetleri üretmek için kullanılan toplam tatlı su hacmini ölçer [8]. Tarımın insanlığın su ayak izinin %90'ından fazlasından sorumlu olduğu tahmin edildiğinden, ilgi büyük ölçüde bu sektöre odaklanmıştır [9]. Tarımsal ekosistemlerde, mahsul üretiminin SA'sı, mahsulün büyümesi ve mahsulün üretim süreci sırasında kirleticilerin seyreltilmesi için gereken tatlı su hacmi (bir ton mahsul başına metre küp olarak) olarak tanımlanır [10]. SA genellikle 1 birim ürün üretmek için gerekli olan su miktarı (m^3/ton) olarak ifade edilir [11]. SA analizi, tarımsal ürünlerin sanal su ihtiyacının daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır [2]. Tarımsal kökenli bir ürün üretmek için, topraktan buharlaşan, köklerden emilen ve mahsul tarafından emilen yağış ve hasat edilen mahsulün içerdiği su dikkate alınmalıdır. Bu bileşen "yeşil su"dur ve tarımsal üretim aşamalarında yaygın olarak kullanılan suyun büyük bir bölümünü temsil eder [11]. SA'nın üç bileşeni vardır ve yeşil, mavi ve gri SA' ları içerir [12]. Yeşil su ayak izi, bir ürünün üretim sürecinde tüketilen yağmur suyu hacmini ifade eder [2]. Yeşil SA yağışlar ve toprağın su depolama kapasitesi gibi bölgenin iklim koşullarından etkilenir [13]. Mavi su ayak izi, bir ürünün üretiminde tüketilen (buharlaştırılan ve ilave edilen) yüzey ve yeraltı suyu hacmini ifade eder. Gri su ayak izi, tanımlanmış su kalitesi standartlarına uymak için mevcut ortam suyu kalitesine dayalı olarak kirletici yükünü asimile etmek için gereken tatlı su hacmini ifade eder [2]. Herhangi bir ürünün mavi su ayak izinin yüksek olması yüzey ve yeraltı suyunun daha fazla kullanıldığını ifade ederken, yeşil su ayak izinin yüksek olması ise yağmur suyundan daha fazla faydalandığı anlamına gelmektedir [14]. Ekin üretimi için SA kriterleri, su tüketimini azaltmayı, su verimliliğini artırmayı ve birim ürün başına kirliliği azaltmayı amaçlayan SA' yı azaltmak için bir temel olabilir [15]. Küresel mavi su tüketiminin yaklaşık % 70' i buğday (% 27), pirinç (% 17), pamuk (% 10), şeker kamışı (% 8) ve yemden (% 7) kaynaklanmaktadır [16].

Son yıllardaki hızlı nüfus artışı, küresel ısınma ve artan kentleşme ve endüstrileşmenin beraberinde getirdiği artan su ihtiyacına karşılık son yıllarda SA kavramı giderek önem kazanan güncel bir konu olmaya başlamıştır. Türkiye ve diğer ülkelerde SA ile ilgili yapılan çalışmalar son derece sınırlıdır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında 2020 yılında Sivas ilinde üretilen buğday, arpa, şeker pancarı ve ay çiçeği için mavi, yeşil ve toplam SA değerleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir

II. MATERYAL VE METOT.

A. Çalışma Alanı

Ülkemizde İç Anadolu Bölge' sinde bulunan Sivas, 35° 50' ve 38° 14' doğu boylamıyla 38° 42' ve 40° 16' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır [17]. İlin merkez ilçe dahil 17 ilçesi bulunmaktadır [18]. Türkiye' nin alan itibarıyla ikinci büyük ili olan Sivas, 28.488 km² lik yüz ölçümü ile ülke topraklarının %3.67'sini kaplamaktadır [19]. Karasal iklim özelliğine sahiptir. Yazları genellikle kuraktır; kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri ise genellikle yağışlı geçer. Yıllık ortalama yağış miktarı 420 mm'dir. İç Anadolu Bölgesinin en soğuk ilidir. Kış ayları dondurucu soğuk olup, kış ortalama sıcaklığı 0 °C civarındadır. En soğuk ay ortalaması -4 °C olup, zaman zaman -36.4 °C'ye düştüğü görülmüştür. Yaz aylarında sıcaklık genellikle ortalama 19 °C üzerindedir. Ancak sıcaklığın 38 °C'yi aştığı görülür [17].



Şekil 1. Sivas ili haritası

B. Veri

Çalışmada kullanılan bitkilerin üretim miktarları, verim ve ekim alanları Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TUIK) [20] temin edilmiştir. Ürünlerin ekim-hasat dönemleri ise TAGEM ve DSİ (2016) tarafından çıkarılmış olan "Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketim Rehberi"nden [21] alınmıştır. Evapotranspirasyon ve efektif yağış değerleri ise CROPWAT yazılımı ile hesaplanmıştır.

C. Su Ayak İzi Hesaplaması

Bu çalışmada, buğday, arpa, şeker pancarı ve ayçiçeğinin Sivas ili için yeşil, mavi ve toplam su ayak izi Hoekstra ve ark. (2011) [22] tarafından geliştirilen metodoloji kullanılarak araştırılmıştır. Buğday, arpa, şeker pancarı ve ayçiçeği için referans ürün evapotranspirasyon (ET_0) tüm iller için CLIMWAT veri tabanından alınmıştır [23]. Bu veri tabanlarındaki ET_0 verileri, Denklem 1' de verilen Penman-Monteith denklemi kullanılarak türetilir [24,25]. Ürün evapotranspirasyon (ET_c) (Denklem (3)) ve mevcut etkin yağış (P_{eff}) CROPWAT modelini kullanarak hesaplanır. Bitki su tüketimlerinin (BST) hesaplanması için denklem 3 ve 4 kullanılmıştır [14].

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (2)$$

$$ET_{mavi} = \max(0, ET_c - P_{eff}) \quad (3)$$

$$ET_{yeşil} = \min(ET_c, P_{eff}) \quad (4)$$

$$ET_c \geq P_{eff} \rightarrow ET_{mavi} = (ET_c - P_{eff}) \quad (5)$$

$$ET_c < P_{eff} \rightarrow ET_{mavi} = 0 \quad (6)$$

$$ET_c \geq P_{eff} \rightarrow ET_{yeşil} = P_{eff} \quad (7)$$

$$ET_c < P_{eff} \rightarrow ET_{yeşil} = ET_c \quad (8)$$

Burada, ET_0 ; referans evapotranspirasyon (mm/gün), R_n ; bitki yüzeyindeki net radyasyon ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$), G ; zeminin ısı değişim yoğunluğu ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$), T ; hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), u_2 ; rüzgâr hızı (m s^{-1}), e_s ; doymun buhar basıncı (kPa), e_a ; gerçek buhar basıncı (kPa), Δ ; buhar basıncı eğrisinin eğimi ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$), γ ; psikometrik sabit ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$), K_c ; bitki katsayıları, ET_c ; bitkinin yıllık evapotranspirasyon değeri (mm/yıl), P_{eff} ; etkili yağış (mm), ve son olarak ET_{mavi} ve $ET_{yeşil}$ ise sırasıyla mavi ve yeşil evapotranspirasyon değerleri (mm/yıl) olarak tanımlanmaktadır [14].

Denklem (9) ve (10)' da verilen bitki su tüketimleri hesaplandıktan sonra Denklem (11) ve (12)' de verilen sanal su muhtevası değerleri hesaplanmıştır. Coğrafi olarak belirlenmiş bir alandaki herhangi bir ürünün toplam su ayak izi, sanal su içeriğinin üretim kütlesi ile çarpılmasıyla hesaplanabilir. Sanal su içeriği (SSM , $\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$), bir ürünün birim kütlesi başına kullanılan su hacmi olarak tanımlanır. Bitki su tüketimi (BST) ise ekili bir alandan herhangi bir mahsulün tükettiği su miktarı olarak tanımlanır [26].

$$BST_{mavi} (\text{m}^3 \text{ha}^{-1}) = 10 \sum ET_{mavi} \quad (9)$$

$$BST_{yeşil} (\text{m}^3 \text{ha}^{-1}) = 10 \sum ET_{yeşil} \quad (10)$$

$$SSM_{mavi} (\text{m}^3 \text{ton}^{-1}) = \frac{BST_{mavi}}{V} \quad (11)$$

$$SSM_{yeşil} (\text{m}^3 \text{ton}^{-1}) = \frac{BST_{yeşil}}{V} \quad (12)$$

$$SSM (\text{m}^3 \text{ton}^{-1}) = SSM_{mavi} + SSM_{yeşil} \quad (13)$$

$$SA (\text{m}^3) = \sum SSM_i (\text{m}^3 \text{ton}^{-1}) \times C_i \quad (14)$$

Burada, SA üretimin toplam su ayak izi ($\text{m}^3 \text{yıl}^{-1}$), C , ürün miktarı (ton), V , ürün verimi (ton ha^{-1}), BST , bitki su tüketimi ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), SSM , $SSM_{yeşil}$ ve SSM_{mavi} ($\text{m}^3 \text{ton}^{-1}$) sırasıyla toplam, yeşil ve mavi su muhtevaları olarak tanımlanmaktadır [14,26].

III.DENEYSSEL BULGULAR

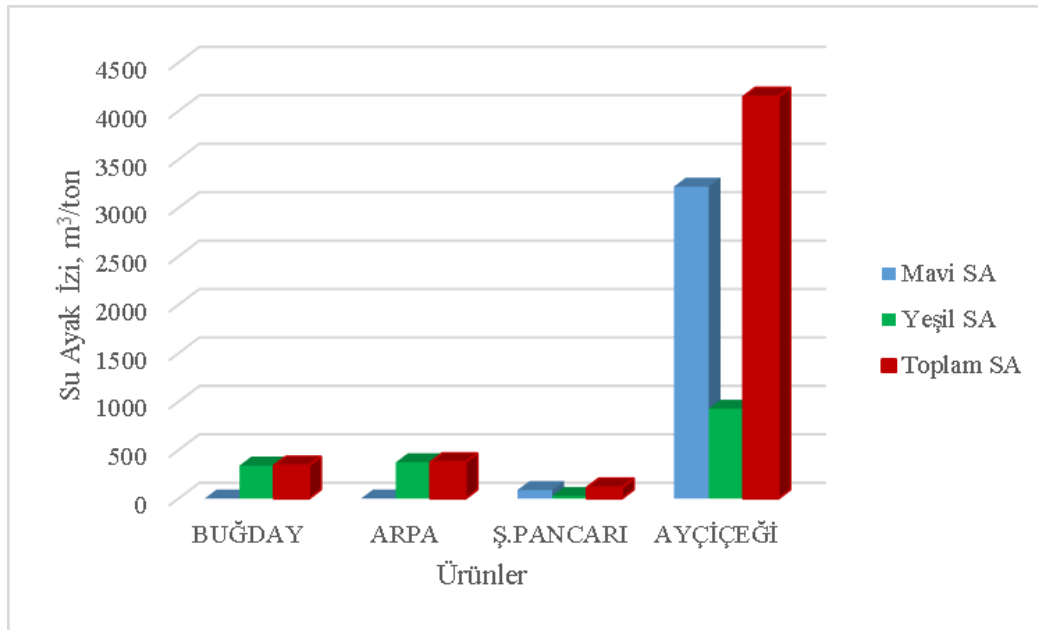
Yapılan çalışmada Sivas ilinde üretilen buğday, arpa, şeker pancarı ve ayçiçeği için hesaplanan mavi, yeşil ve toplam su ayak izi değerleri Tablo 1 ve Şekil 2' de sunulmuştur. Şekil 2' de dört ürün arasında en büyük toplam su ayak izine yaklaşık $4147 \text{ m}^3 \text{ton}^{-1}$ ile ayçiçeği sahip iken en küçük su ayak izine ise $113 \text{ m}^3 \text{ton}^{-1}$ ile şeker pancarının sahip olduğu görülmektedir. Buğday ve arpanın mavi su ayak izleri 0 olarak hesaplanmıştır ve mavi SA 'nın 0 olması ise buğday ve arpa için yağış sularının yeterli olduğu anlamına gelmektedir. Bunun nedeni ise "Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketim Rehberi"nden alınan veriler doğrultusunda buğday ve arpanın ekim-hasat döneminin yağışlı döneme gelmesi ve yağışlardan daha fazla yararlanması olarak düşünülmektedir. Şeker pancarı ve ayçiçeği için ise aynı şekilde mavi su ayak izlerinin yüksek olmasının sebebi ise ekim-hasat dönemlerinin kurak döneme denk geliyor olmasıdır.

Tablo 1. 2020 yılında Sivas ilinde yetiştirilen buğday, arpa, şeker pancarı ve ayçiçeğine ait SA değerleri

Ürün	Mavi SA (m ³ ton ⁻¹)	Yeşil SA (m ³ ton ⁻¹)	Toplam SA (m ³ ton ⁻¹)	Üretim Miktarı (ton)
Buğday	0	340	340	560413
Arpa	0	374	374	326682
Şekerpancarı	87	26	113	975782
Ayçiçeği	3220	927	4147	1955

Tablo 2. Buğday, arpa, şeker pancarı ve ayçiçeğine ait küresel ortalama SA değerleri [27].

Ürün	Mavi SA (m ³ ton ⁻¹)	Yeşil SA (m ³ ton ⁻¹)	Toplam SA (m ³ ton ⁻¹)
Buğday	342	1277	1619
Arpa	79	1213	1292
Şekerpancarı	26	82	108
Ayçiçeği	148	3017	30165



Şekil 2. 2020 yılında Sivas ilinde yetiştirilen buğday, arpa, şeker pancarı ve ayçiçeğine ait mavi, yeşil ve toplam SA değerleri

SA konusu yeni ve güncel bir konu olduğundan dolayı ülkemizde ve dünyada yapılmış çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Yerli ve ark. [28], Van ilinde şeker pancarının su ayak izini hesaplamışlardır ve şeker pancarının toplam SA' sını 120 m³ ton⁻¹olarak belirlemişlerdir. Toplam SA' nın da yaklaşık 82,5 m³ ton⁻¹ u mavi SA' nın, yaklaşık 37,7 m³ ton⁻¹ u ise yeşil SA' nın oluşturduğunu ifade etmişlerdir. Muratoğlu ve ark. [29], Türkiye' de buğdayın SA büyüklüğünü araştırdıkları çalışmalarında buğdayın SA büyüklüğünü 47.4 milyar m³ olduğunu belirtmişlerdir. El-Marsafawy ve Mohamed [30], ise Mısır' da ayçiçeğinin mavi SA büyüklüğünün 2389 m³ ton⁻¹ olduğunu ifade etmişlerdir. Thaler ve ark. [31], Avusturya' da buğday, şeker pancarı, arpa ve ayçiçeğinin toplam su ayak izlerini sırasıyla 780 m³ ton⁻¹, 360 m³ ton⁻¹, 470 m³ ton⁻¹ ve 1290 m³ ton⁻¹ olduğunu ve bizim çalışmamızla paralel olarak en büyük su ayak izine ayçiçeğinin, en küçük su ayak izine ise şeker pancarının sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmaların sonuçların farklılıkları bölgelerin farklı iklimsel özelliklere sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

IV.SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucunda şeker pancarı ve ayçiçeğinin SA' ları küresel ortalamanın altında çıkmıştır. Bu durumda ayçiçeği ve şeker pancarı üretiminin daha fazla yağış alan bölgelerde üretilmesi gibi yeşil su kullanımının artırılmasına yönelik çeşitli stratejiler geliştirilebilir. Ürünler uygun iklim koşullarına göre yetiştirilerek su tasarrufu sağlanabilir. Sivas ili için buğday ve arpanın mavi SA değerleri 0 olarak hesaplanmıştır ve bu sonuç Sivas ilinin buğday ve arpa üretimi için elverişli bir iklime sahip olduğunu göstermektedir ve yağış sularının arpa ve buğday üretimi için yeterli olduğu anlamına gelmektedir.

Tarım, dünyadaki en büyük su tüketiminin gerçekleştiği sektörlerden biridir. Tarımsal ürünlerin su ayak izlerinin belirlenmesi ile su kıtlığı yaşanan bölgelerde yeşil SA büyük olan ürünlerin yetiştirilmesine öncelik verilerek su tasarrufu sağlanabilir. Benzer şekilde mavi SA büyük olan ürünlerin üretimi fazla yağış alan bölgelerde yapılarak hem mavi SA büyüklüğü düşürülebilir hem de suyun daha sürdürülebilir kullanımı sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Cao, X., Huang, X., Huang, H., Liu, J., Guo, X., Wang, W. & She, D. (2018). Changes and driving mechanism of water footprint scarcity in crop production: A study of Jiangsu Province, China. *Ecological Indicators*, 95, 444-454.
- [2] Gheewala, S. H., Silalertruksa, T., Nilsalab, P., Mungkung, R., Perret, S. R. & Chaiyawannakarn, N. (2014). Water footprint and impact of water consumption for food, feed, fuel crops production in Thailand. *Water*, 6(6), 1698-1718.
- [3] Ewaid, S. H., Abed, S. A. & Al-Ansari, N. (2019). Water footprint of wheat in Iraq. *Water*, 11(3), 535.
- [4] Zhai, Y., Tan, X., Ma, X., An, M., Zhao, Q., Shen, X. & Hong, J. (2019). Water footprint analysis of wheat production. *Ecological indicators*, 102, 95-102.
- [5] Li, X., Chen, D., Cao, X., Luo, Z. & Webber, M. (2020). Assessing the components of, and factors influencing, paddy rice water footprint in China. *Agricultural Water Management*, 229, 105939.
- [6] Ridoutt, B & Garcia, J.N. (2020). Cropland footprints from the perspective of productive land scarcity, malnutrition-related health impacts and biodiversity loss. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121150.
- [7] Nana, E., Corbari, C., Bocchiola & D. (2014). A model for crop yield and water footprint assessment: Study of maize in the Po valley. *Agricultural Systems*, 127, 139-149.
- [8] Paterson, W., Rushforth, R., Ruddell, B. L., Konar, M., Ahams, I. C., Gironás, J., Mijic, A. & Mejia, A. (2015). Water footprint of cities: A review and suggestions for future research. *Sustainability*, 7(7), 8461-8490.
- [9] Van der Laan, M., Jarman, C., Bastidas-Obando, E., Annandale, J.G., Fessehazion, M. & Haarhoff, D. (2019). Are water footprints accurate enough to be useful? A case study for maize (*Zea mays* L.). *Agricultural Water Management*, 213, 512-520.
- [10] Govere, S., Nyamangara, J. & Nyakatawa, E. Z. (2020). Climate change signals in the historical water footprint of wheat production in Zimbabwe. *Science of the Total Environment*, 742, 140473.
- [11] Lovarelli, D., Bacenetti, J. & Fiala, M. (2016). Water footprint of crop productions: A review. *Science of the Total Environment*, 548, 236-251.
- [12] Arunrat, N., Pumijumnong, N., Sereenonchai, S., Chareonwong, U. & Wang, C. (2020). Assessment of climate change impact on rice yield and water footprint of large-scale and individual farming in Thailand. *Science of the Total Environment*, 726, 137864.
- [13] Pardo, J. J., Martínez-Romero, A., Lélis, B. C., Tarjuelo, J. M. & Domínguez, A. (2020). Effect of the optimized regulated deficit irrigation methodology on water use in barley under semiarid conditions. *Agricultural Water Management*, 228, 105925.
- [14] Muratoğlu, A. (2020). Üretimin su ayak izinin incelenmesi: Diyarbakır ili için bir vaka çalışması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), 845-858.

- [15] Perea, R.G., Poyato, E.C., Montesinos, P., Morillo, J.G. & Díaz, J.A.R. (2016). Influence of spatio temporal scales in crop water footprinting and water use management: Evidences from sugar beet production in Northern Spain. *Journal of Cleaner Production*, 139, 1485-1495.
- [16] Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. (2020). Sustainability of the blue water footprint of crops. *Advances in Water Resources*, 143, 103679.
- [17] Pürlü K. (2013). Sivas' ta kültür ve turizmi geliştirme strateji planı. Sivas Valiliği, II Kültür ve Turizm Müdürlüğü; 49.
- [18] Bulut, A. P. & Canbaz, G. T. (2019). Hayvan atıklarından Sivas ili biyogaz potansiyelinin araştırılması. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(1), 1-10.
- [19] Doğan, A. (2007). Sivas ili ekonomisinin makro-ekonomik göstergeler açısından Türkiye ve İç Anadolu Bölgesi' ndeki yeri. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 2007(3), 40-52.
- [20] TÜİK. Bitki Üretim İstatistikleri. Retrieved from Türkiye İstatistik Kurumu website: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=trParashar>, (Erişim tarihi: 10.06.2020).
- [21] TAGEM, (2017). Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimi Rehberi. Ankara 2017, 590.
- [22] Hoekstra A. Y., Chapagain A. K., Aldaya M. M. & Mekonnen M.M. (2011). The water footprint assessment manual, Water Footprint Network.
- [23] FAO, CLIMWAT 2.0, Food and agricultural organization of the United Nations, <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/limwat-for-cropwat/en/>. [Erişim tarihi: 01 Temmuz 2021].
- [24] Chapagain, A. K. & Hoekstra, A. Y. (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, 70(4), 749-758.
- [25] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. *In Irrigation and Drainage*, 300.
- [26] Muratoglu, A. (2020). Assessment of wheats water footprint and virtual water trade: A case study for Turkey. *Ecological Processes*, 9(1), 1-16.
- [27] Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577-1600.
- [28] Yerli, C., Şahin, Ü., Kızıloğlu, F. M., Tüfenkçi, Ş. & Örs S. (2019). Van ilinde silajlık mısır, patates, şeker pancarı ve yoncanın su ayak izi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(2), 195-203.
- [29] Muratoğlu, A., Yüce, M. İ. & AYTEK, A. (2019). Türkiye' nin uluslararası sanal su transferinin incelenmesi: Buğday için bir vaka analizi. 10. Ulusal Hidroloji Kongresi, 1-8, 9-12 Ekim 2019, Muğla.
- [30] El-Marsafawy, S. M. & Mohamed, A. I. (2021). Water footprint of Egyptian crops and its economics. *Alexandria Engineering Journal*, 60(5), 4711-4721.
- [31] Thaler, S., Gobin, A. & Eitzinger, J. (2017). Water footprint of main crops in Austria. *Journal of Land Management, Food and Environment*, 68, 1-15.

Araştırma Makalesi- Research Article

Invar 36 Alaşımının Seramik Takımlar ile İşlenmesinde Kesme Kuvveti Bileşenleri ve Yüzey Pürüzlülüğü Bakımından İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi

Evaluation of Machinability in Terms of Cutting Force Components and Surface Roughness in Machining of Invar 36 Alloy with Ceramic Tools

Mahir Akgün^{1*}

Geliş / Received: 18/10/2021

Revize / Revised: 12/01/2022

Kabul / Accepted: 21/01/2022

ÖZ

Invar 36, düşük ısıl genleşme katsayısı nedeniyle uzay ve havacılık alanında yüksek boyutsal stabilitenin gerekli olduğu mühendislik uygulamalarında kullanılan bir malzemedir. Bu çalışmada, kesme kuvveti bileşenleri (Fc, Ff, Fp) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) bakımından Invar 36 alaşımının işlenebilirliği değerlendirilmiştir. Tornaalama deneyleri, kuru kesme şartlarında CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, varyans analizi (Anova) ile kesme kuvveti bileşenleri ve Ra üzerinde kesme parametrelerinin etki düzeyleri belirlenmiştir. Analiz sonuçları, ilerleme miktarının Fc, Ff ve Ra üzerinde en etkili parametre olduğunu talaş derinliğinin ise Fp üzerinde en etkili kesme parametresi olduğunu göstermektedir. Kesme kuvveti bileşenleri (Fc, Ff ve Fp) için en düşük değerler 240 m/dak (Vc), 0,12 mm/dev (f) ve 0,6 mm (a) değerlerinde yapılan deneylerde sırasıyla 95 N, 80 N ve 20 N olarak ölçülmüştür. En düşük Ra değeri ise 180 m/dak (Vc), 0,12 mm/dev (f) ve 0,6 mm (a) değerlerinde yapılan deneyler sonucunda 0,452 µm olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Invar 36 Alaşımı, Kesme Kuvveti, Yüzey Pürüzlülüğü, Varyans Analizi

ABSTRACT

Invar 36 is an alloy used in engineering applications where high dimensional stability is required in the field of space and aviation due to its low thermal expansion coefficient. In this study, the machinability of Invar 36 alloy has been evaluated in regard to the cutting force components (Fc, Ff and Fp) and surface roughness (Ra). The turning experiments were performed on dry conditions without using cooling liquid on a CNC lathe. The impact levels of the cutting parameters on the cutting force components and Ra are also determined with analysis of variance (Anova). The analysis results show that the feed rate has the highest significance on Fc, Ff, and Ra while the cutting depth has the highest significance on Fp. The minimum values for the cutting force components in the tests performed at a (Vc) of 240 m/min, at a (f) of 0.12 mm/rev and a (a) of 0.6 mm, have been measured as 95N, 80N, and 20N, respectively. The lowest Ra value was obtained as 0.452 µm as a result of the experiments performed at 180 m/min (Vc), 0.12 mm/rev (f) and 0.6 mm (a).

Keywords- Invar 36 Alloy, Cutting Force, Surface Roughness, Variance Analysis

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: mahirakgun@aksaray.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4522-066X>)

Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, Türkiye

I. GİRİŞ

Invar 36 (Fe-36Ni), Charles-Édouard Guillaume tarafından geliştirilen, %36 nikel içeren ikili Demir-Nikel alaşımıdır. Bu alaşımın ana özelliği, her türlü uygulama için boyutsal kararlılık sağlayan, oda sıcaklığında son derece düşük ısıl genleşme katsayısıdır ve Invar adı bu özelliğine “boyutlarının değişmezliğine” atfedilerek değişmez kelimesinden gelmektedir [1-4]. Dahası, Curie sıcaklığı (279°C) altında, Invar 36 alaşımı ferromanyetiktir ve son derece düşük ısıl genleşme katsayısı sunmaktadır. Geniş bir çalışma sıcaklığı aralığında bu özel boyutsal değişmezlikten yararlanan Invar 36 alaşımı, şiddetli sıcaklık değişimlerinde yüksek boyutsal stabilitenin gerekli olduğu mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedir [5]. Özellikle, uzay ve havacılık sanayinden, uzay kamerası, hassas aletler, halka lazer jiroskopları, optik montaj bileşenleri, ikiz metalik işaretleyici, sismik sürünme sensörleri, zaman tutma sistemleri gibi bileşenlerde ve yanı sıra metroloji cihazları ve televizyonun gölge maskesi çerçevesi de dahil olmak üzere birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır [6-10].

Invar 36 alaşımı, yüz merkezli kübik (FCC) kristal yapıya sahip tek fazlı bir östenit (γ -Fe) yapıda oluşmaktadır. Östenitik alaşımların yüksek sünekliği, düşük ısı iletkenliği ve yüksek deformasyon sertleşme eğilimleri zor işlenmelerinin nedenleri olarak kabul edilmektedir [11,12]. Ayrıca, Invar 36'nın işleme sürecinde yığıntı talaş (BUE) oluşumu, kesici takım ömrünü ve üretim verimliliğini ciddi şekilde etkilemektedir [13]. Invar 36 alaşımın farklı imalat yöntemleriyle işlenmesi üzerine gerçekleştirilen çalışmalar değerlendirildiğinde, Khanna ve arkadaşları, Invar 36 alaşımının frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu üzerine çalışmışlardır [14]. Frezeleme deneylerini Taguchi L9 dizinine göre tasarlamışlardır. Sonuç olarak, en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri için 0,3 mm talaş derinliği, 0,144 m/min ilerleme miktarı ve 75,4 m/min kesme hızını optimum kesme parametreleri olarak belirlemişlerdir. Basmacı ve arkadaşları, Invar 36 alaşımının farklı kesme şartlarında işlenmesinde kesme parametrelerinin makine öğrenimi yöntemiyle modellenmesi üzerine çalışmışlardır [15]. Tornalama deneylerini iki farklı kesici takım kullanarak, kuru kesim, MQL 20ml, MQL40ml ve CO2 olmak üzere dört farklı kesme şartında gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, geliştirilen yapay sinir ağı modeli ve arayüz uygulaması ile kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tahminin mümkün olduğunu bildirmişlerdir. Porwal ve arkadaşları, Invar 36 Gri ilişki analizi (GRA) kullanılarak Invar 36 alaşımının elektro erozyon yöntemi ile mikro delinmesi üzerine çalışmışlardır [16]. Malzeme kaldırma oranı, takım aşınma oranı ve delik konikliği çıktı parametreleri olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, optimum işleme şartlarında malzeme kaldırma oranının %125 iyileştiğini, takım aşınma oranının %35 ve delik konikliğinin ise %27 azaldığını belirlemişlerdir. Zheng ve arkadaşları, kaplamalı karbür takımlar kullanılarak Invar36 alaşımının frezelenmesinde kesme parametrelerinin mikro sertliğe etkisini araştırmışlardır [17]. Sonuçlar işleme sonrası ölçülen mikro sertliğin 80 μ m ile 160 μ m arasında değiştiğini ve mikro sertliğin kesme derinliğinden ve ilerleme miktarından önemli ölçüde etkilendiği gözlemlenmiştir.

Son zamanlarda, eklemeli imalat yöntemindeki hızlı gelişmeler, Invar 36 alaşımından yüksek hassasiyetli karmaşık bileşenlerinin üretilmesine olanak sağlamıştır. Metalik alaşımlar için doğrudan metal biriktirme (DMD), elektron ışını eritme (EBM) ve seçici lazer eritme (SLM) dahil olmak üzere birçok eklemeli (katmanlı) üretim teknolojisi geliştirilmiştir [18-20]. Literatürde, birçok araştırmacının, seçici lazer eritme (SLM) yöntemiyle Invar 36 alaşımından bileşenlerin üretimi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir [21-23]. Örneğin, Khanna ve arkadaşları seçici lazer eritme (SLM) ile Invar 36 alaşımının üretilmesinde yüzey pürüzlülüğü ve yoğunluk arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır [24]. Sonuç olarak, tabaka kalınlığının hem yoğunluk hem de yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili proses parametresi olduğunu ve ayrıca, yoğunluğun yanı sıra yüzey pürüzlülüğü ile işlemin enerji yoğunluğu arasında doğrusal bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir. Bir diğer çalışmada ise Qui ve arkadaşları toz yatak füzyon birleştirme yöntemi (PBF) ile Invar 36 alaşımının üretiminde TiAl parçacıklarının eklenmesinin mikroyapısal ve mekanik özellik etkisini araştırmışlardır [25]. Sonuç olarak, TiAl parçacıklarının eklenmesi ile nano boyutlu oksit ve intermetalik fazların oluştuğunu ve buna bağlı olarak termal genleşme özelliklerinin iyileştiğini belirlemişlerdir. Ayrıca TiAl takviyeli Invar 36 alaşımının, düşük sıcaklıklarda önemli ölçüde geliştirilmiş mukavemet, iyi süneklik ve düşük termal genleşme katsayıları sergilediğini ve bu nedenle yapısal bir malzeme olarak kullanılabilirliğini bildirmişlerdir.

Literatür araştırması, bir Demir-Nikel alaşımı olan Invar 36 alaşımının talaşlı imalat yöntemleri ile şekillendirilmesiyle ilgili çalışmaların oldukça kısıtlı olduğunu göstermektedir. Bu yüzden, bu çalışmada Invar 36 alaşımının tornalama yöntemiyle işlenmesinde kesme parametrelerinin, kesme kuvveti bileşenleri olan; esas kesme kuvveti (Fc), ilerleme kuvveti (Ff), pasif kuvvet (Fp) ve yüzey pürüzlülüğü değeri (Ra) üzerinde etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı kesme şartlarında CNC torna tezgahında işlenebilirlik testleri gerçekleştirilmiştir. Kesme kuvveti bileşenlerinin (Fc, Ff ve Fp) ölçülmesinde, Kistler 9257B tipi dinamometre ve

ekipmanları kullanılmıştır. Ayrıca, varyans analizi (Anova) ile Fc, Ff ve Fp ve Ra üzerinde kesme parametrelerinin etki düzeyleri belirlenmiştir. Son olarak, deneysel çalışmalar ile elde edilen Fc, Ff ve Fp ve Ra değerlerine göre Invar 36 süperalaşımının işlenebilirliği değerlendirilmiştir.

II. DENEYSEL METOT

A. İş Parçası Malzemesi

Bu çalışmada, deney malzemesi olarak demir esaslı bir ısıl dirençli alaşım olan Invar 36 alaşımı kullanılmıştır. Deney numuneleri 25,4 mm çapında ve 200 mm boyunda hazırlanmıştır. Tablo 1’de deney malzemesinin kimyasal bileşimi ve Tablo 2’de fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir [26].

Tablo 1. Invar 36 alaşımının % kimyasal bileşimi.

Fe	Ni	Mn	Si	C
63,13	36,14	0,27	0,2	0,025

Tablo 2. Invar 36 alaşımının fiziksel ve mekanik özellikleri.

Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk	g/cm ³	8,11
Akma gerilmesi	MPa	240
Çekme gerilmesi	MPa	490
Elastikiyet modülü	GPa	140
Ergime noktası	°C	1430
Isıl iletkenlik (20°C’de)	W/m°C	10
Isıl genleşme	10 ⁻⁶ /°C	1,5 (20-100°C) 10,1(20-500°C)

B. Takım Tezgahı ve Kesme Şartları

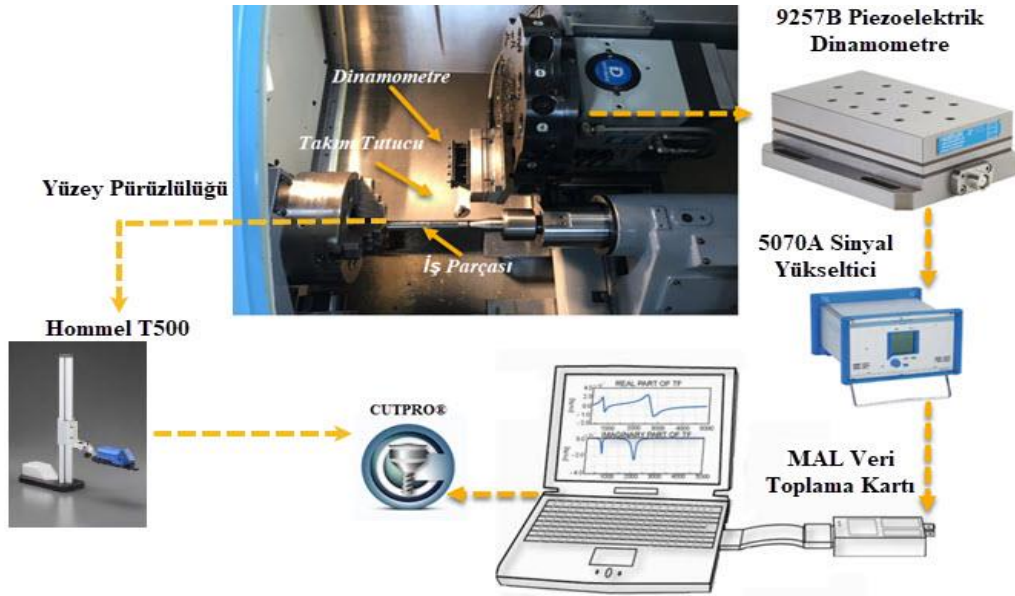
Tornalama deneyleri ALEX TECH ANL-75T, C eksenli CNC torna tezgahında kuru kesme şartlarında 20 mm kesme uzunluğunda gerçekleştirilmiştir. Tezgahın iş mili motor gücü 15 KW olup, değişken kademesiz hıza sahip iş mili en yüksek 3500 dev/dak hıza çıkabilmektedir. İşleme deneylerinde, Kennametal firması tarafından KY4400 kalitesinde ve CNGA1204T01020 formunda temin edilen seramik kesici takımlar tercih edilmiştir. Kesici takım seçiminde ve kesme parametrelerinin seviyelerinin belirlenmesinde üretici firma tavsiyeleridikkate alınmıştır. İşleme parametreleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. İşleme parametreleri.

Sembol	Kesme Parametreleri	Seviye				
		I	II	III	IV	V
Vc	Kesme hızı (m/dak)	120	150	180	210	240
f	İlerleme miktarı (mm/dev)	0,12	0,18	0,24	-	-
a	Kesme derinliği (mm)	0,6	1,2	1,8	-	-

C. Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Kesme kuvvetlerinin ölçümü için KISTLER 9257B tipi piezoelektrik dinamometre, Kistler 5070 yükseltici, veri toplama kartı ve ayrıca, toplanan kesme kuvveti sinyallerinin işlenmesi için CUTPRO® yazılımı kullanılmıştır. Şekil 1’de deney düzeneği şematik olarak görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde HOMMEL Tester T 500 cihazı kullanılmıştır. Ölçümler iş parçası eksenine paralel olacak şekilde işlenmiş yüzey üzerinde üç farklı noktada yapılmıştır. Bu ölçümlerin aritmetik ortalamaları alınarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, “FEI QUANTA FEG 250” taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak kesici takımlarda meydana gelen aşınma mekanizmaları incelenmiştir.

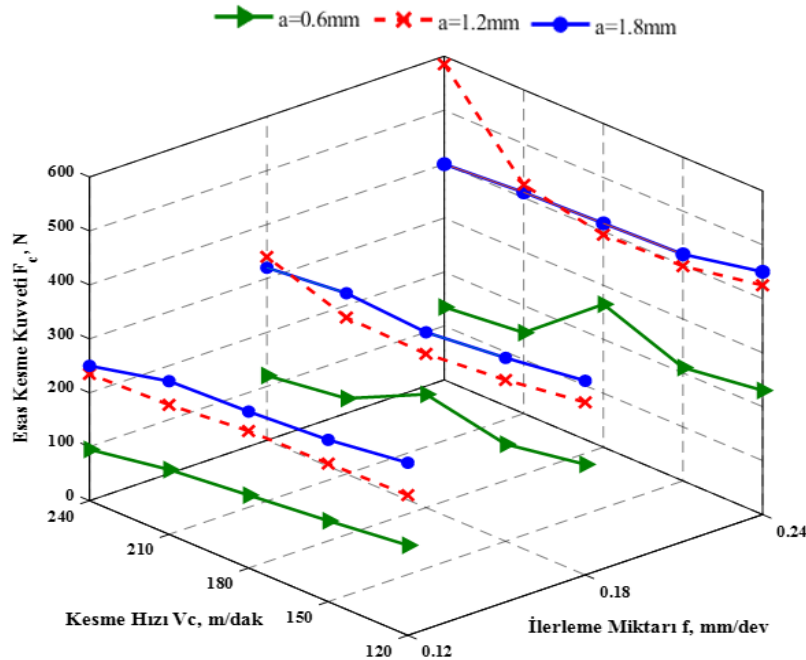


Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

A. Esas Kesme Kuvvetinin Değerlendirilmesi

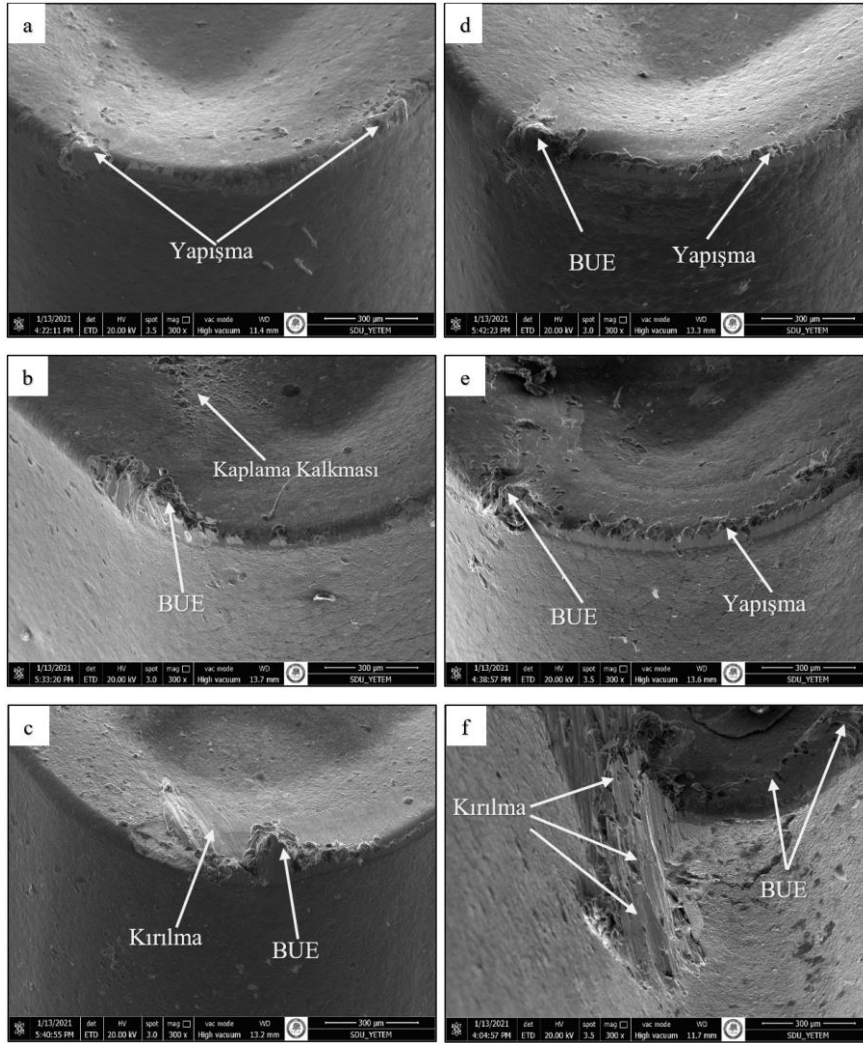
Kesme kuvvetlerinin analizinde, talaşlı imalat işlemlerinde enerji tüketimi açısından birincil düzeyde önemli olan esas kesme kuvveti (F_c) değerleri öncelikle dikkate alınmıştır. Şekil 2 esas kesme kuvvetinin kesme parametrelerinin seviyelerine göre değişimini göstermektedir.



Şekil 2. Esas kesme kuvvetinin kesme parametrelerine bağlı olarak değişimi.

Grafik incelendiğinde, ilerleme miktarı ve talaş derinliğindeki artışa bağlı olarak esas kesme kuvvetinin arttığı ancak kesme hızındaki artışa bağlı olarak bir miktar azaldığı görülmektedir. İlerleme miktarının (f) 0,12 mm/dev'den 0,18 mm/dev'e artırılması ile yapılan deneylerde esas kesme kuvveti (F_c) yaklaşık olarak %23 artar

iken ilerleme miktarının 0,18 mm/dev'den 0,24 mm/dev'e artırılması ile yapılan deneylerde esas kesme kuvveti yaklaşık olarak %32 artmıştır. Esas kesme kuvvetindeki artış trendi talaş derinliğinde de görülmektedir. Talaş derinliğinin 0,6 mm'den 1,2 mm'ye artırılması ile yapılan deneylerde esas kesme kuvveti yaklaşık olarak %88 artar iken talaş derinliğinin 1,2 mm'den 1,8 mm'ye artırılması ile yapılan deneylerde esas kesme kuvveti yaklaşık olarak %14 artmıştır. Diğer yandan, kesme hızındaki artışa bağlı olarak F_c 'nin 180 m/dak V_c 'e kadar azaldığı ve bu seviye geçildiğinde düzensizleştiği görülmektedir. Literatürde, metal kesme işlemlerinde kesme hızındaki artışa bağlı olarak genellikle kesme kuvvetinin azaldığı bildirilmiştir [27-30]. Bu durum, kesme hızındaki artış ile deformasyon bölgesinde oluşan sıcaklığın artmasıyla, takım-talaş temas yüzeyinde yapışan malzemenin kayma dayanımının azalması ile açıklanabilir [31]. Ancak, gözlenen bu eğilimin aksine Invar 36 alaşımının tornalanmasında kesme hızının artması ile belirli bir seviye kadar esas kesme kuvvetinin azaldığı ancak yüksek kesme hızlarında arttığı belirlenmiştir. Bu duruma Invar 36 alaşımının düşük termal iletim katsayısının neden olduğu düşünülmektedir, çünkü yüksek kesme hızlarında yapılan tornalama deneylerinde Invar 36 alaşımının düşük termal iletim katsayısından dolayı, kesme bölgesinde oluşan yüksek ısının kesici takıma daha fazla geçiyle birlikte kesici takım hızlı aşınmaya maruz kalmıştır. Dahası, Şekil 3'te kesici takımlarda meydana gelen aşınma görüntüleri verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde, yüksek kesme hızlarında takım aşınmasının arttığı ve ayrıca, kesici takım uçunda küçük kırılmaların (chipping) meydana geldiği görülmektedir.

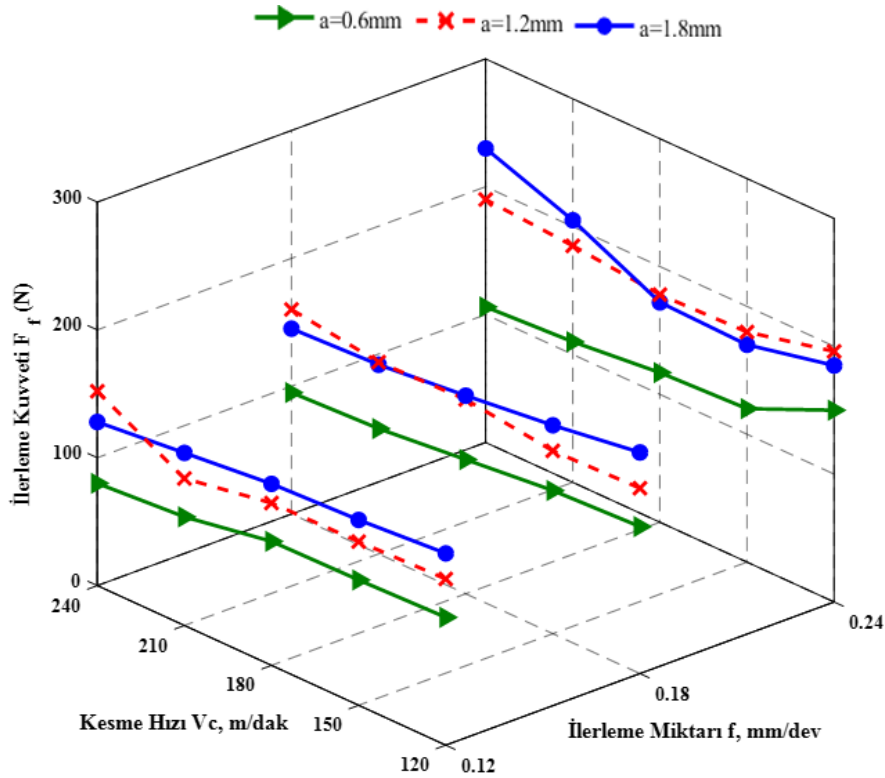


Şekil 3. Kesici takımlara ait SEM görüntüleri: a) 210 m/dak, 0,12 mm/dev b) 210 m/dak, 0,18 mm/dev c) 210 m/dak, 0,24 mm/dev. d) 240 m/dak, 0,12 mm/dev e) 240 m/dak, 0,18 mm/dev f) 240 m/dak, 0,24 mm/dev.

B. İlerleme Kuvvetinin Değerlendirilmesi

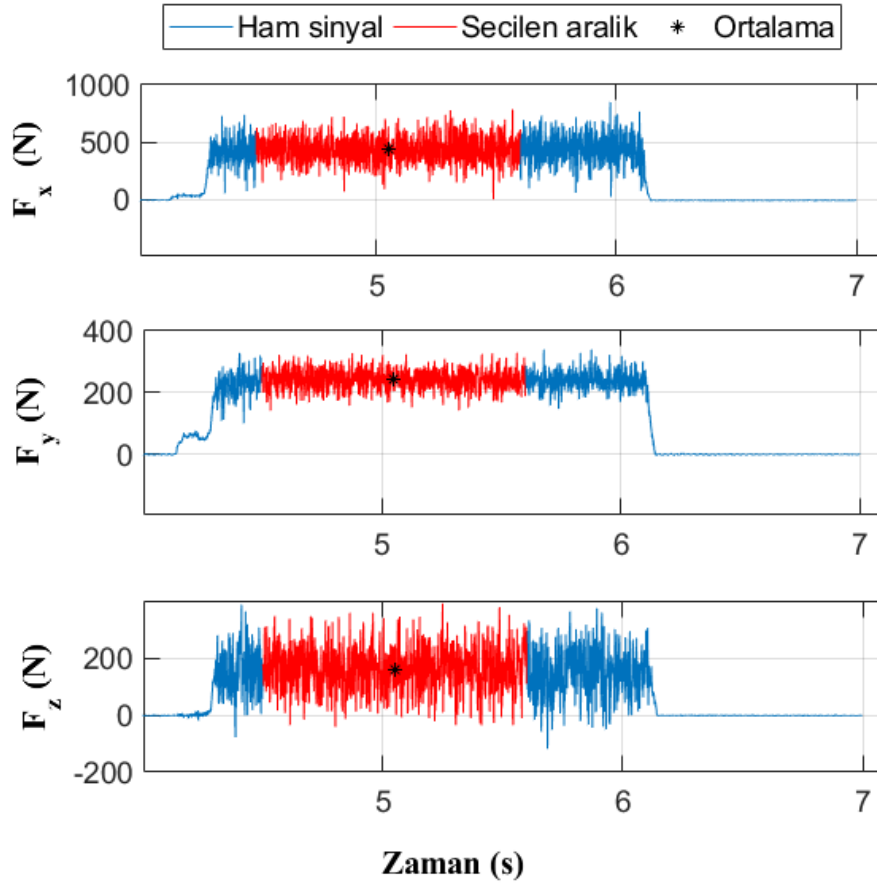
İlerleme yönüne paralel olan ilerleme kuvveti (F_f), teorik hesaplamalarda esas kesme kuvvetinin (F_c) bağlı olarak yaklaşık olarak Eş. 1’de yer alan bağıntı ile hesaplanır. Ancak, ampirik çalışmalar ile oluşturulan bu bağıntının yanı sıra ilerleme kuvveti deneysel olarak bir dinamometre aracılığıyla da belirlenebilmektedir [32]. İlerleme kuvveti, esas kesme kuvvetinden sonra kesme kuvvetleri arasında ikinci derecede öneme sahiptir. Şekil 4’te kesme parametrelerinin seviyelerine bağlı olarak ilerleme kuvvetindeki değişimler görülmektedir.

$$F_f \approx (0,2 - 0,3)F_c \quad (1)$$



Şekil 4. İlerleme kuvvetinin kesme parametrelerinin bağlı olarak değişimi.

Şekil 4 incelendiğinde, her bir talaş derinliğinde kesme hızındaki artışa bağlı olarak, ilerleme kuvvetinin bir miktar azaldığı ancak ilerleme miktarındaki artışa bağlı olarak ilerleme kuvvetinin arttığı görülmektedir. f 'in 0,12 mm/dev'den 0,18 mm/dev'e arttırılması ile yapılan deneylerde ilerleme kuvveti (F_f) yaklaşık olarak %11 artar iken f 'in 0,18 mm/dev'den 0,24 mm/dev'e arttırılması ile yapılan deneylerde ilerleme kuvveti yaklaşık olarak %35 artmıştır. Talaş derinliğinin 0,6 mm'den 1,2 mm'ye arttırılması ile yapılan deneylerde ilerleme kuvveti yaklaşık olarak %30 artar iken talaş derinliğinin 1,2 mm'den 1,8 mm'ye arttırılması ile yapılan deneylerde ilerleme kuvveti yaklaşık olarak %12 artmıştır. Diğer yandan, kesme hızındaki artışa bağlı olarak ilerleme kuvvetinin azaldığı ama bu azalmanın çok küçük miktarda olduğu görülmektedir. Ancak, yüksek kesme hızlarında ilerleme kuvvetinin ani bir artış eğilimine girdiği görülmekte ve bu duruma yüksek kesme hızlarında takım tezgahında meydana gelen titreşimin neden olduğu düşünülmektedir. Şekil 5'te kuvvetin grafiği yer almaktadır. Şekil 5 incelendiğinde, kuvvet genliğindeki yüksek sapsmalar titreşimin oluştuğunun bir göstergesidir.



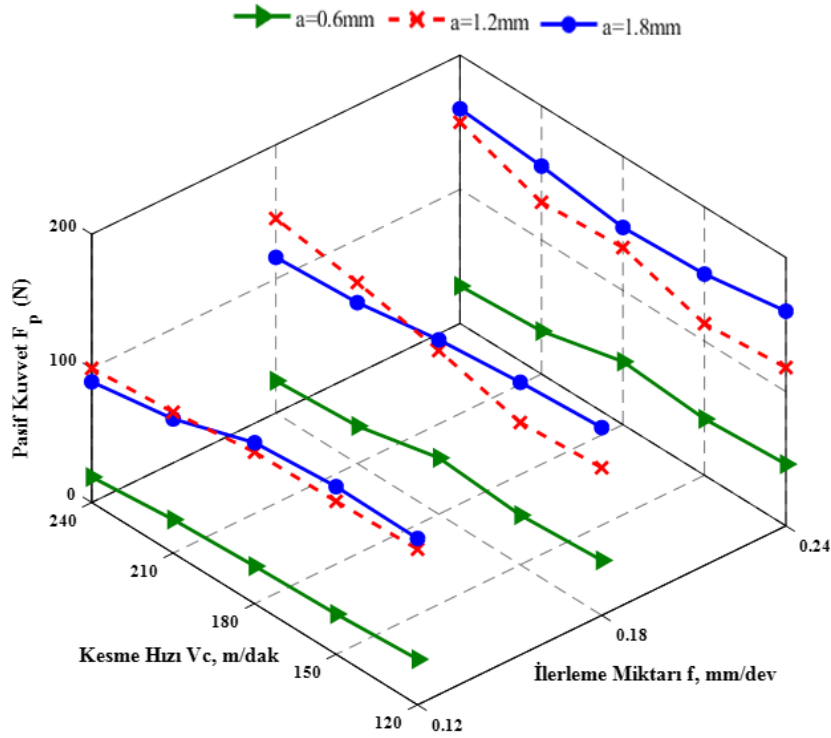
Şekil 5. Kesme kuvvet grafiği:240 m/dak (Vc), 0,24 mm/dev (f) ve 1,2 mm (a).

En düşük ilerleme kuvveti, 240 m/dak (Vc), 0,12 mm/dev (f) ve 0,6 mm (a) de yapılan deneylerde 80 N olarak ölçülür iken en yüksek ilerleme kuvveti ise 240 m/dak (Vc), 0,24 mm/dev (f) ve 1,8 mm (a) değerlerinde yapılan deneylerde 230 N olarak ölçülmüştür.

C. Pasif Kuvvetin Değerlendirilmesi

Genellikle, silindirik tornalama işleminde kesme kuvveti bileşenleri içerisinde pasif kuvvet en düşük olan kuvvettir [33]. Pasif kuvvet teorik olarak Eş. 2 kullanılarak hesaplanmaktadır. Ancak, bu bileşen bir dinamometre aracılığıyla da belirlenebilmekte ve deneysel çalışmalarda genellikle bu yol tercih edilir. Şekil 6'da kesme parametrelerinin seviyelerine bağlı olarak pasif kuvvetteki değişimler görülmektedir.

$$F_p \approx (0,1 - 0,2)F_c \quad (2)$$



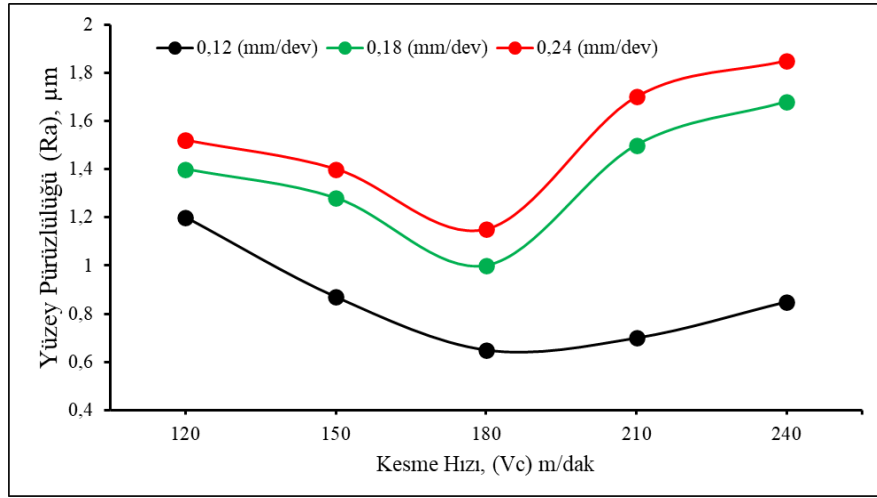
Şekil 6. Pasif kuvvetin kesme parametrelerinin bağlı olarak değişimi.

Her bir talaş derinliğinde kesme hızının ve ilerleme miktarının farklı seviyelerinde yapılan tormalama deneylerinde ölçülen pasif kuvvetler, esas kesme kuvvetlerinde ve ilerleme kuvvetlerinden daha düşüktür. Bunun ana nedeni pasif kuvvetin takım geometrisinden etkilenmesidir. Bu durum dikkate alınarak kesici takım uç yarıçapı 0,4 mm belirlenmiştir ve en düşük talaş derinliği (0,6 mm) uç yarıçapının altında seçilmediği için pasif kuvvet diğer kesme kuvveti bileşenlerine göre daha küçük ölçülmüştür. Şekil 6 incelendiğinde, ilerleme miktarı ve talaş derinliğindeki artışa bağlı olarak pasif kuvvetin arttığı belirlenmiştir. f 'in 0,12 mm/dev'den 0,18 mm/dev'e artırılması ile yapılan deneylerde pasif kuvvet (F_p) yaklaşık olarak %4 artar iken f 'in 0,18 mm/dev'den 0,24 mm/dev'e artırılması ile yapılan deneylerde pasif kuvvet yaklaşık olarak %7 artmıştır. Talaş derinliğinin 0,6 mm'den 1,2 mm'ye artırılması ile yapılan deneylerde pasif kuvvet yaklaşık olarak %300 artar iken talaş derinliğinin 1,2 mm'den 1,8 mm'ye artırılması ile yapılan deneylerde pasif kuvvet yaklaşık olarak %6 artmıştır. Diğer yandan, en düşük pasif kuvvet değeri, 240 m/dak (V_c), 0,12 mm/dev (f) ve 0,6 mm (a) de yapılan deneylerde 20 N olarak ölçülür iken en yüksek F_p değeri ise 240 m/dak (V_c), 0,24 mm/dev (f) ve 1,8 mm (a) de yapılan deneylerde 160 N olarak ölçülmüştür.

D. Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

İmalat işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü bir iş parçasının yüzey kalitesini tanımlamada önemli göstergelerden birisidir. Özellikle, bir bileşenin sürtünmesine sebep olan temas, ısı iletimi, kaplama, yağ tutumu yanı sıra yorulma dayanımı, korozyon direnci gibi çeşitli tribolojik özelliklerini etkilemektedir [34]. Şekil 7'de kesme parametrelerinin seviyelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değerlerindeki değişimler görülmektedir.

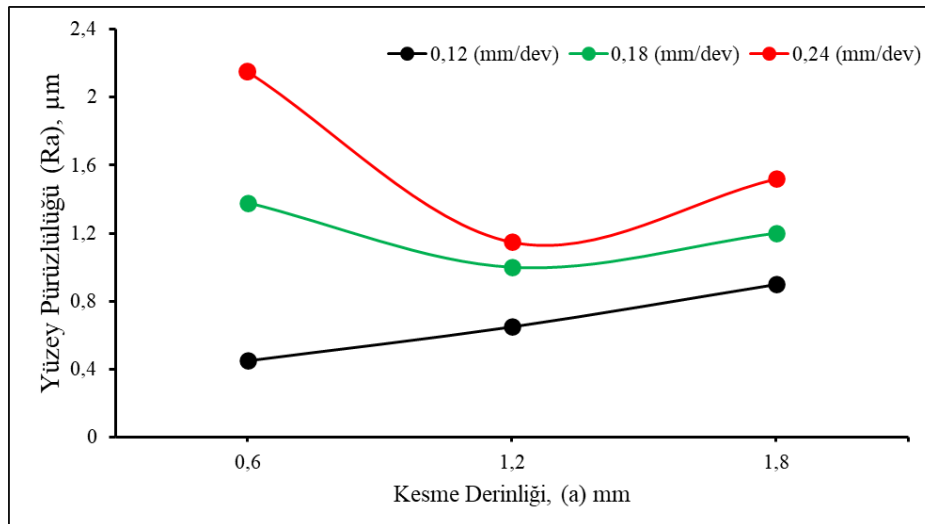
Şekil 7 incelendiğinde bütün kesme hızı seviyelerinde f 'in artması ile R_a değerlerinin artış eğiliminde görülmektedir. 120 m/dak (V_c), 1 mm (a) ve 0,12 mm/dev (f) değerlerinde yapılan tormalama deneyinde R_a 1,25 μ m ölçülmüştür. f 'in düzenli olarak %50 ve %100 oranlarında artırılması ile yapılan tormalama deneylerinde yüzey pürüzlülüğü değerinde sırasıyla yaklaşık olarak %41 ve %145 oranlarında bir artış olmuştur. Bu durum, ilerleme miktarındaki artış ile takımda meydana gelen gerilmelerin artması ile açıklanabilir [35]. Varyans analiz sonuçlarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde ilerleme miktarının %89,53 katkı oranı ile baskın bir etkiye sahip olduğu görülmektedir (Tablo 4).



Şekil 7. Yüzey pürüzlülüğünün (Ra) kesme hızına ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişimi.

Şekil 7'ye göre 0,12 mm/dev (f), Vc 120 m/dak'dan 180 m/dak'ya artırılması ile yapılan deneylerde Ra'nın yaklaşık olarak %46 (0,65 µm) azaldığı belirlenmiştir. Ancak, kesme hızının 180 m/dak Vc'den, 210 m/dak ve 240 m/dak artırılmasıyla yapılan deneylerde Ra'nın arttığı elde edilmiştir. Bu duruma, yüksek kesme hızlarında yapılan tornalama deneylerinde kesme bölgesinde oluşan yüksek ısının ve Invar 36 alaşımının düşük termal iletim katsayısından dolayı kesme bölgesinde oluşan ısının kesici takıma daha fazla geçiyle birlikte takımın kesme performansını erken yitirmesinin neden olduğu düşünülmektedir (Şekil 3). Literatürde, birçok çalışmada tornalama deneylerinde Vc'nin belirli bir seviyeye kadar artırılması ile Ra değerinin azalması bildirilmiştir [36-38]. Ancak, kesme hızının daha fazla artırılması ile takımın aşınma sürecine daha erken girmesi ve takımın ömrünü yitirmesi yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemektedir.

Şekil 8'de 180 m/dak kesme hızında, 0,6 mm, 1,2 mm ve 1,8 mm kesme derinliklerinde ve üç farklı ilerleme miktarında yapılan deneyler sonrası ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin değişimi görülmektedir. Her bir talaş derinliğinde ilerleme miktarının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri artmıştır. Her bir ilerleme miktarında ise talaş derinliğinin 0,6mm'den 1,2 mm'ye artırılması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri bir miktar azalır iken 1,2 mm'den 1,8 mm artırılması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri artış eğilimine girdiği görülmektedir. Literatüre göre düşük talaş derinliğinde, talaş kesitinin azalmasıyla talaşın deforme edilmesi için gerekli olan enerjinin azalması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azalması beklenmektedir. Ancak, düşük talaş derinliğinde, yüksek ilerleme miktarında ve yüksek kesme hızlarından kaynaklı yüksek iş mili devir sayılarında takım tezgahında meydana gelen titreşimin neden olduğu düşünülmektedir [39].



Şekil 8. Yüzey pürüzlülüğünün (Ra) talaş derinliğine ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişimi.

Sonuç olarak, en düşük Ra değeri 180 m/dak (Vc), 0,6 mm (a) ve 0,12 mm/dev (f) değerlerinde yapılan tornalama deneyinde 0,452 µm olarak ölçülmüştür.

E. Varyans Analizi Sonuçları

Kesme parametrelerinin Fc, Fr, Fp ve Ra üzerindeki etkilerini belirlemek için %95 güven seviyesinde varyans (Anova) analizi yapılmıştır. Varyans analizinde önem seviyesi (P) ve katkı oranı (F) değerleri dikkate alınmıştır. Çıktı parametreleri üzerinde girdi parametrelerinin etkili olabilmesi için önem seviyesi değerinin 0,05'ten küçük olması beklenmekte ve ayrıca F değeri en fazla olan faktör en etkili faktördür [30]. Tablo 4'te varyans analiz sonuçları verilmiştir. Tablo 4'e göre, ilerleme miktarının %79,78, %86,53 ve %89,53 katkı oranları ile sırasıyla Fc, Ff ve Ra üzerinde en etkili parametre olduğunu talaş derinliğinin ise %84,55 katkı oranı ile Fp üzerinde en etkili kesme parametresi olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. Varyans analizi sonuçları.

Faktörler	Serbestlik Derecesi (DoF)	Kareler Toplamı (SS)	Kareler Ortalaması (MS)	F Değeri	P Değeri	Katkı Oranı (%)
Fc						
Vc (m/dak)	2	4039	2019	1,70	0,370	5,25
f (mm/dev)	2	61406	30703	25,89	0,037	79,78
a (mm)	2	9156	4578	3,86	0,206	11,89
Hata	2	2372	1186			3,08
Total	8	76972				100
Ff						
Vc (m/dak)	2	353,56	176,78	16,40	0,05	7,29
f (mm/dev)	2	4197,56	2098,78	194,73	0,005	86,53
a (mm)	2	278,56	139,11	12,91	0,072	5,74
Hata	2	21,56	10,78			0,44
Total	8	4850,89				100
Fp						
Vc (m/dak)	2	1058,7	529,3	4,26	0,19	10,16
f (mm/dev)	2	302	151	1,21	0,452	2,90
a (mm)	2	8808,7	4404,3	35,42	0,027	84,55
Hata	2	248,7	124,3			2,39
Total	8	10418				100
Ra						
Vc (m/dak)	2	0,16016	0,080078	21,39	0,045	9,23
f (mm/dev)	2	1,55402	0,777011	207,51	0,005	89,53
a (mm)	2	0,01446	0,007078	1,89	0,346	0,82
Hata	2	0,00749	0,003744			0,43
Total	8	1,73582				100

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, seramik kesici takımlar ile Invar 36 alaşımının işlenmesinde kesme kuvveti bileşenleri (Fc, Ff ve Fp) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) bakımından Invar 36 alaşımının işlenebilirliği deneysel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular analiz edilerek, özetlenen sonuçlar aşağıda listelenmiştir:

- İlerleme miktarı (f) ve talaş derinliğindeki (a) artışa bağlı olarak hem kesme kuvveti bileşenleri hem de yüzey pürüzlülüğü değerleri artmıştır.
- Varyans analizi sonuçlarına göre, ilerleme miktarı esas kesme kuvveti (Fc), ilerleme kuvveti (Fr) ve Ra üzerinde sırasıyla, %79,78, %86,53 ve %89,53 katkı oranları en etkili parametre iken talaş derinliği ise pasif kuvvet (Fp) üzerinde %84,55 katkı oranı ile en etkili kesme parametresidir.
- Kesme kuvveti bileşenleri olan esas kesme kuvveti (Fc), ilerleme kuvveti (Fr) ve pasif kuvvetin (Fp) için en düşük değerler 240 m/dak (Vc), 0,12 mm/dev (f) ve 0,6 mm (a) değerlerinde yapılan deneylerde sırasıyla, 95N, 80 N ve 20 N olarak ölçülmüştür.
- Esas kesme kuvveti (Fc) için maksimum değer 240 m/dak (Vc), 0,24 mm/dev (f) ve 1,2 mm (a) değerlerinde yapılan deneyde 595 N olarak ölçülmüştür.

- İlerleme miktarındaki artışla birlikte Ra değerlerinde belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. Kesme hızı ve talaş derinliğinin Ra üzerinde etkisi ilerleme miktarının etkisinden daha azdır ve ayrıca kesme hızının artması ile Ra değerlerinin azalış trendinde girdiği görülmüştür.
- En düşük Ra değeri 180 m/dak (Vc), 0,12 mm/dev (f) ve 0,6 mm (a) değerlerinde yapılan deneyler sonucunda 0,452 µm olarak elde edilmiştir.
- SEM incelemesinde, kesici takımlarda kırılma, yığıntı talaş (BUE) ve küçük kırılmaların (chipping) meydana geldiği görülmüştür.
- Yüksek kesme hızlarında kesici takımlarda meydana gelen aşınmaların yüzey pürüzlülüğünün ve kesme kuvvetlerinin artmasında etkili olduğu görülmüştür.
- Invar 36 alaşımı gibi düşük termal iletim katsayısına sahip malzemelerin yüksek kesme hızlarında işlenmesinde kesici takım kesme bölgesinde oluşan ısıdan daha fazla etkilenmektedir. Bu yüzden, bu tür malzemelerin işlenmesinde yüksek yüzey kalitesi elde etmek için kesme parametrelerinin orta seviyelerinin seçilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Guillaume, C. (1920). Invar and Elinvar. Nobel Lectures Physics. 1901-1921, 444-473.
- [2] Davis, J. R. (2001). Alloying: Understanding the Basics. ASM International, Materials Park, Ohio, 587-594.
- [3] Rosenberg, S.J. (1968). Nickel and its alloys, National Bureau of Standards Monograph. Washington, D.C., A.B.D 106, 1-9.
- [4] Nickel-Iron Alloys. (2021). <https://www.specialmetals.com/assets/smc/documents/alloys/nilo-nilomag/nilo-and-nilomag-alloys.pdf>.
- [5] Wei, K., Yang, Q., Ling, B., Yang, X., Xie, H., Qu, Z., & Fang, D. (2020). Mechanical properties of Invar 36 alloy additively manufactured by selective laser melting. *Materials Science and Engineering: A*, 772, 138799.
- [6] Nagayama, T., Yamamoto, T., & Nakamura, T. (2017). Electrodeposition of invar Fe-Ni alloy/SiC particle composite. *ECS Transactions*, 75(37), 69.
- [7] Nagayama, T., Yamamoto, T., & Nakamura, T. (2016). Thermal expansions and mechanical properties of electrodeposited Fe-Ni alloys in the Invar composition range. *Electrochimica Acta*, 205, 178-187.
- [8] Nan, J.M., Li, G.X., Xu, K.W., Wang, H.W., Song, L.J., & Dou, X.Y. (2001). Elevated Temperature Deformation Behaviour and Mechanical Characteristics of Invar Alloy Used for Shadow Mask. *J. Mater. Eng.* 1(1), 19-21.
- [9] Li, X.F., Chen, N.N., Li, J.J., He, X.T., Liu, H.B., Zheng, X.W., & Chen, J. (2017). Effect of Temperature and Strain Rate on Deformation Behavior of Invar 36 Alloy. *Acta Metall. Sin.*, 53(8), 968-974.
- [10] Ratnayake, D., & Walsh, K.M. (2016). Invar Thin Films for MEMS Bistable Devices. In Southeastcon 2016, 30 March-3 April, Norfolk, VA, USA, 1-4.
- [11] Corbacho, J. L., Suárez, J. C., & Molleda, F. (1998). Welding of invar Fe-36Ni alloy for tooling of composite materials. *Welding international*, 12(12), 966-971.
- [12] Hidalgo, J., Jiménez-Morales, A., Barriere, T., Gelin, J. C., & Torralba, J. M. (2014). Mechanical and functional properties of Invar alloy for µ-MIM. *Powder Metallurgy*, 57(2), 127-136.
- [13] Asgari, H., Salarian, M., Ma, H., Olubamiji, A., & Vlasea, M. (2018). On thermal expansion behavior of invar alloy fabricated by modulated laser powder bed fusion. *Materials & Design*, 160, 895-905.
- [14] Khanna, N., Gandhi, A., Nakum, B., & Srivastava, A. (2018). Optimization and analysis of surface roughness for INVAR-36 in end milling operations. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 5281-5288.
- [15] Basmacı, G., Kırbaş, İ., & Mustafa, A. Y. (2021). Modelling of cutting parameters for Nilo 36 superalloy with machine learning methods and developing an interactive interface. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 5(1), 79-86.

- [16] Porwal, R. K., Yadava, V., & Ramkumar, J. (2013). Multi-Objective optimization of hole drilling electrical discharge micromachining process using grey relational analysis coupled with principal component analysis. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 94(4), 317-325.
- [17] Zheng, X. W., Ying, G. F., Chen, Y., & Fu, Y. C. (2015). The Effects of Cutting Parameters on Work-Hardening of Milling Invar 36. In *Advanced Materials Research*, 1089, 373-376.
- [18] Ramakrishnan, A., & Dinda, G.P. (2019). Direct Laser Metal Deposition of Inconel 738. *Materials Science and Engineering: A*, 740, 1-13.
- [19] Zhou, Q., Hayat, M. D., Chen, G., Cai, S., Qu, X., Tang, H., & Cao, P. (2019). Selective electron beam melting of NiTi: Microstructure, phase transformation and mechanical properties. *Materials Science and Engineering: A*, 744, 290-298.
- [20] Wei, K., Zeng, X., Wang, Z., Deng, J., Liu, M., Huang, G., & Yuan, X. (2019). Selective laser melting of Mg-Zn binary alloys: effects of Zn content on densification behavior, microstructure, and mechanical property. *Materials Science and Engineering: A*, 756, 226-236.
- [21] Yakout, M., Elbestawi, M. A., & Veldhuis, S. C. (2018). A study of thermal expansion coefficients and microstructure during selective laser melting of Invar 36 and stainless steel 316L. *Additive Manufacturing*, 24, 405-418.
- [22] Wei, K., Yang, Q., Ling, B., Yang, X., Xie, H., Qu, Z., & Fang, D. (2020). Mechanical properties of Invar 36 alloy additively manufactured by selective laser melting. *Materials Science and Engineering: A*, 772, 138799.
- [23] Kim, S.H., Choi, S.G., Choi, W.K., & Lee, E.S. (2017). Surface Characteristics of Invar Alloy According to Micro-Pulse Electrochemical Machining. *Materiali in Technologije*, 51, 745-749.
- [24] Khanna, N., Mistry, S., Rashid, R. R., & Gupta, M. K. (2019). Investigations on density and surface roughness characteristics during selective laser sintering of Invar-36 alloy. *Materials Research Express*, 6(8), 086541.
- [25] Qiu, C., Liu, Y., & Liu, H. (2021). Influence of addition of TiAl particles on microstructural and mechanical property development in Invar 36 processed by laser powder bed fusion. *Additive Manufacturing*, 48, 102457.
- [26] Nickel-Iron Alloys. (2021). <https://www.specialmetals.com/documents/technical-bulletins/nilo-alloys.pdf>.
- [27] Özlü, B., Demir, H., Türkmen, M., & Gündüz, S. (2021). Examining the machinability of 38MnVS6 microalloyed steel, cooled in different mediums after hot forging with the coated carbide and ceramic tool. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 0954406220984498.
- [28] Demir, H., Gündüz, S., & Erden, M.A. (2018). Influence of the Heat Treatment on the Microstructure and Machinability of AISI H13 Hot Work Tool Steel. *Int J Adv Manuf Technol*, 95, 2951-2958.
- [29] Çiftçi, İ. (2005). The Influence of Cutting Tool Coating and Cutting Speed on Cutting Forces and Surface Roughness in Machining of Austenitic Stainless Steels. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 20(2), 205-209.
- [30] Trent, E.M. (1989). *Metal Cutting*. Butterworths Press, London.
- [31] Akgün, M., & Demir, H. (2021). Estimation of Surface Roughness and Flank Wear in Milling of Inconel 625 Superalloy. *Surface Review and Letters*, 28(04), 2150011.
- [32] Günay, M., & Şeker, U. (2005). Investigation of the Effect of Cutting Tool Rake Angle on Feed Force. *Journal of Polytechnic*, 8 (4), 323-328.
- [33] Korkmaz, M.E., & Günay, M. (2018). Experimental and Statistical Analysis on Machinability Of Nimonic 80A Superalloy with Pvd Coated Carbide. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 36(4), 1139-1150.
- [34] Arık, İ. (2010). The Effect Of Milling Cutter Having Differential Pitched Cutting Edges On Chatter Vibrations, Selcuk University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master Thesis.

- [35] Çiftçi, İ. (2006). Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools. *Tribology International*, 39 (6), 565–569.
- [36] Akkuş, H., & Yaka, H. (2021). Experimental and statistical investigation of the effect of cutting parameters on surface roughness, vibration and energy consumption in machining of titanium 6Al-4V ELI (grade 5) alloy. *Measurement*, 167, 108465.
- [37] Akgün, M., & Demir, H. (2021). Optimization of Cutting Parameters Affecting Surface Roughness in Turning of Inconel 625 Superalloy by Cryogenically Treated Tungsten Carbide Inserts. *SN Applied Sciences*, 3, 277.
- [38] Gürbüz, H., Şeker, U., & Kafkas, F. (202). Effects of Cutting Tool Forms on the Surface Integrity in Turning of AISI 316L Stainless Steel. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(1), 225-240.
- [39] Akgün, M., Demir, H., & Çiftçi, İ. (2018). Mg₂Si partikül takviyeli magnezyum alaşımlarının tornalanmasında yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu. *Politeknik Dergisi*, 21(3), 645-650.

Araştırma Makalesi - Research Article

Jel İçeren Sıvılaştırılabilir Zeminde Donma Direncinin İncelenmesi

An Investigation of the Freezing Resistance in Liquefiable Soil Containing Gel

Asker Alp Gültekin¹, Burak Evirgen^{2*}

Geliş / Received: 01/11/2021

Revize / Revised: 24/02/2022

Kabul / Accepted: 03/03/2022

ÖZ

Dinamik etkilere maruz kalan ince kumlu-siltli zeminlerde, düşük plastisiteli killerde ve hatta gelen ivmenin büyüklüğüne bağlı olarak çakıllı zeminlerde dahi sıvılaşma olayı meydana gelebilmektedir. Bu sorunu önlemek amacıyla mekanik veya kimyasal zemin iyileştirme teknikleri kullanılmaktadır. Yüksek su emme kapasitesine sahip sodyum poliakrilatın zemine karıştırılması veya enjeksiyonu da kimyasal zemin iyileştirme tekniklerindedir. Ortamdaki su ile etkileşime girdiğinde jel forma dönüşen bu malzemenin, dona maruz kalan bölgelerde zemin içerisinde donması durumundaki davranışı bilinmemektedir. Bu amaçla, referans numuneleriyle birlikte %5,00, %10,00, %15,00 ve %20,00 oranlarında sodyum poliakrilat jeli içeren kumlu zemin numuneleri -20°C'de dondurulmuş ve serbest basınç deneyi uygulanmıştır. Ayrıca, kumlu numunelere ağırlıkça %5,00 oranında bentonit kili eklenerek deneyler tekrarlanmıştır. Jel içeriğiyle birlikte su muhtevasının artmasına bağlı olarak tüm numunelerin serbest basınç dayanımları artmasına rağmen, bentonit içeren numunelerde ortalama %14,00 daha düşük değerler elde edilmiştir. Diğer taraftan bentonit içermeyen donmuş numunelerde genel olarak birim şekil değiştirme değerleri artarken, bentonitli numunelerde azalmaktadır. Zemin içerisinde jel formda olan viskoz yapı, donma işlemi sırasında meydana gelen hacim artışı sönümleyerek donma kabarması sorununu engellemektedir. Ancak, sodyum poliakrilat ile iyileştirilen sıvılaşmaya karşı hassas kumlu zeminlerde yetersiz doygunluk durumunda taşıma kapasitesi kayıplarının dikkate alınması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler- *Donma Direnci, Serbest Basınç Dayanımı, Sıvılaşma, Bentonit, 3B Yazıcı*

ABSTRACT

The liquefaction phenomenon may originate in fine sandy - silty type of soils subjected to dynamic effects, low plasticity clays and even in soils with gravels based on the magnitude of applied acceleration. The mechanical or chemical soil improvement techniques have been used to prevent this problem. The mixing or grouting operations of sodium polyacrylate, which has a high-water absorption capacity, is one of the chemical soil improvement techniques. The frost behavior of this material, which turns into a gel form when react with the water in the environment, is not known in the permafrost areas. Within this purpose, sandy specimens including 5.00%, 10.00%, 15.00%, and 20.00% sodium polyacrylate gel as well as reference ones, were frozen at -20°C and unconfined compression tests were applied. Moreover, the tests were repeated for additional specimens containing 5.00% bentonite clay by weight. Although the unconfined compressive strength of all samples improved according to the increase in the amount of water with the gel content, about 14.00% lower values were obtained in specimens containing bentonite. On the other hand, the unit strain values of frozen samples without bentonite increased, while

¹İletişim: askeralpgultekin@eskisehir.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-8315-4598>)

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, 26555, Eskişehir, Türkiye

^{2*}Sorumlu yazar iletişimi: burakevirgen@eskisehir.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-4202-5479>)

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, 26555, Eskişehir, Türkiye

reduction observed in samples with bentonite. The viscous structure, that is in gel form inside the soil, dissipates volume increase during the freezing process and prevents the frost heave problem. However, the loss of bearing capacity should be considered in case of insufficient saturation in liquefaction sensitive sandy soils improved with sodium polyacrylate.

Keywords- Freezing Resistance, Unconfined Compressive Strength, Liquefaction, Bentonite, 3D Printer

I. GİRİŞ

Saha incelemesi geoteknik mühendisleri için önemli süreçlerden biridir. Zeminin özelliklerinin incelendiği bu süreçte, zemin parametrelerinin yetersiz olması durumunda çoğu zaman uygun yöntemle iyileştirme yapılmaktadır. Fiziksel, mekanik ya da kimyasal yöntemlerle gerçekleştirilen zemin stabilizasyonu, doğal zemin özelliklerinin mevcut duruma göre iyileştirildiği teknikleri kapsamaktadır. Mekanik ve fiziksel stabilizasyonda zeminin mukavemeti ve stabilitesi genellikle harici yük veya titreşim oluşturan mekanik yöntemlerle artırılabilir. Bu yöntemler sayesinde zeminin boşluk oranı ve dolayısıyla geçirgenliği azalırken, yoğunluğu ve mukavemeti artmaktadır. Kimyasal stabilizasyon ise farklı formlarda eklenen katkıların, zemin daneleri veya ortamdaki su ile meydana getirdiği reaksiyonlar ile gerçekleşmektedir. Zemin özelliklerinin bağlayıcı malzeme veya kimyasal bağlar ile artırıldığı bu yöntemlerde; çimento, kireç, uçucu kül gibi ekonomik ve yan ürün niteliğindeki katkılara ek olarak özel kimyasallar da tercih edilebilmektedir. Genellikle soruna özgü çözüm olanağı sunan bu özel kimyasallardan birisi de su emdiğinde jel forma dönüşen poliakrilat türevleridir. Diğer taraftan, zeminin dinamik etkilere maruz kalması sonucunda uygun koşullarda boşluk suyu basıncı artmakta, efektif gerilme ise azalmaktadır. Buna bağlı olarak sıvılaşma meydana gelmekte, zeminin kayma mukavemeti azalmakta ve zemin üzerinde bulunan yapılarda ciddi mertebelerde hasarlar oluşturmaktadır. Süregelen klasik jet enjeksiyonu ve derin karıştırma uygulamalarında zemine enjekte edilen çimento türevleri taşıma kapasitesi artışı sağlarken sıvılaşma potansiyelinin azaltılmasına da dolaylı açıdan imkan tanımaktadır. Çalışma kapsamında donmaya karşı etkisi değerlendirilen sodyum poliakrilat (SPA) ise zemindeki su fazını jel forma dönüştürdüğü için viskoziteyi artırıp, boşluk suyu basıncını azaltarak doğrudan sıvılaşma problemine çözüm sunmaktadır [1,2].

Donmuş zeminler; Rusya, Grönland, İzlanda, Kanada, Finlandiya gibi yıl boyunca hava sıcaklığının aşırı seviyelerde düştüğü bölgelerdeki zeminlerin yüzeye yakın tabakalarında doğal olarak oluşmaktadır. Dona maruz kalan zeminde yaşanan hacim artışı nedeniyle zemin daneleri birbirinden uzaklaşmakta ve temas alanları azalmaktadır. Dolayısıyla içsel sürtünme açısı azalırken, buzun kazandırdığı rijitlik nedeniyle geçici basınç dayanımı artışı gözlenmektedir. Donmuş zeminlerin mekanik etkilerinin araştırıldığı çalışmalar genellikle deneysel uygulamalar ve arazi gözlemlerini içermektedir. Evirgen vd. [3] tarafından yapılan çalışmada zemin tipinin ve donma süresinin, suya doymuş donmuş granüler zeminlerdeki serbest basınç dayanımına ve geçirgenliğe etkisi incelenmiştir. Kötü derecelendirilmiş kum ve kötü derecelendirilmiş çakıl tipindeki zeminler deneylerde kullanılmıştır. İnce danelere sahip olan kötü derecelendirilmiş kum tipi zeminin daha yüksek serbest basınç dayanımına ve birim şekil değiştirme değerlerine ulaştığı belirtilmiştir. Ayrıca zeminlerin donma süresindeki artış ile serbest basınç dayanımlarında da artış gözlenmiştir. Zhao vd. [4] tarafından yapılan çalışmada dondurulmuş killi zeminin ısı eğimindeki değişiminin serbest basınç dayanımına ve deformasyona etkisi araştırılmıştır. Isıl eğim düştükçe zeminin serbest basınç dayanımı ve pekleşme davranışında artış meydana gelmektedir. Kimyasal stabilizasyonunun donmuş zeminlere etkisinin değerlendirildiği diğer bir çalışmada ise iyonik polimer zemin stabilizatörünün donmuş zemine etkileri incelenmiştir [5]. Li vd. [6] farklı oranlarda iyileştirilmiş numunelere serbest basınç deneyi ve kesme kutusu deneyi uygulamışlardır. Stabilizatörün zeminin plastik indeksini ve donma sıcaklığını düşürücü yönde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Stabilizatörün %1,00 oranını geçmesiyle, donmuş zeminin mekanik dayanımının arttığı anlaşılmıştır. Keskin vd. [7] tarafından yapılan çalışmada ise %5,00-%10,00 oranlarında mermer tozu, ponza tozu ve kireç tozu içeren ince daneli zeminlerin donma-çözülme etkisi altındaki serbest basınç dayanımları incelenerek, katkısız duruma kıyasla değişimleri sunulmuştur. Donma-çözülme çevrimleri sonunda ise katkı tipine göre serbest basınç dayanımlarında %37,00 ile %73,00 arasında değişen oranlarda azalma gözlenmiştir.

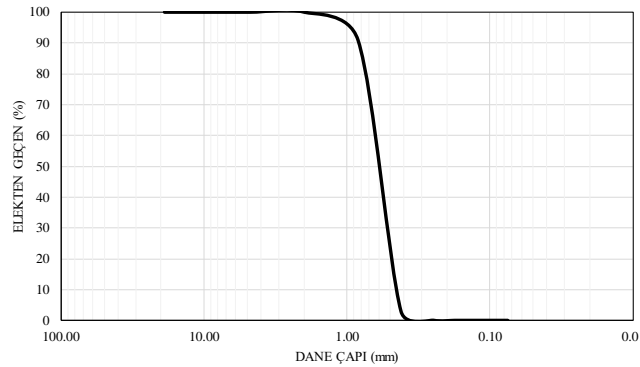
Donmuş zeminlerde kayma mukavemetini azaltan boşluk suyu basıncı bulunmadığından sıvılaşma problemi yaşanmazken, çözülme etkisi ile bu problem tekrar ortaya çıkmaktadır. Termal yalıtım ve şev yüksekliğinin artırılması gibi yaklaşımlarla şevlerin çözülme kaynaklı sorunlardan korunması amaçlanmaktadır. Şevlerde donmaya karşı izolasyonun sağlanması için kaba daneli kayalar yerine ince daneli kayaların kullanımı önerilirken, alt yapı projelerinde ise çözülmeye bağlı sıvılaşma potansiyelinin göz ardı edilmemesi gerektiği belirtilmektedir [8,9].

Bu çalışmada ise sıvılaşma riskine karşı SPA jeli kullanılarak iyileştirilen yüzeye yakın kumlu zeminin donmaya maruz kalması durumunda serbest basınç dayanımındaki değişim araştırılmıştır. Ayrıca donmuş zeminde SPA ile birlikte bentonit kili bulunması durumu da incelenmiştir. Kuru ağırlığının 1/4'ü oranında çimento içeren sodyum poliakrilat jeli, silis kumuna %5,00, %10,00, %15,00 ve %20,00 oranlarında karıştırılarak kalıplar içerisinde -20°C 'de dondurulmuştur. Aynı oranlar %5,00 bentonit + %95,00 silis kumu karışımına da eklenerek deneyler tekrarlanmıştır. Her bir durum için en az 3 adet üretilen donmuş numuneler serbest basınç deneyine tabii tutulmuştur. Sonuçta elde edilen yük – birim şekil değiştirme grafikleri poliakrilat jeli içermeyen referans numuneleri ile karşılaştırılmıştır.

II. MALZEME VE YÖNTEM

A. Zemin Özellikleri

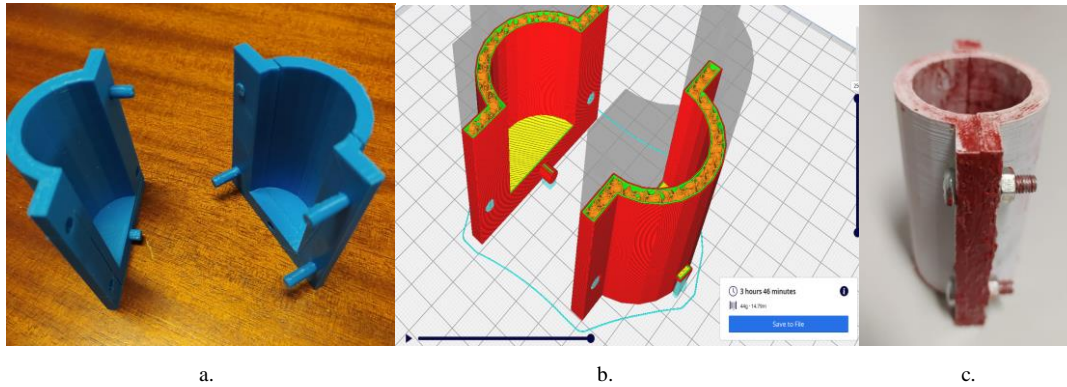
Çalışmada kullanılan silis kumuna geoteknik deneyler uygulanarak zemin özellikleri belirlenmiştir. Elek analizi sonucunda elde edilen sıvılaşma potansiyeline sahip zemine ait gradasyon eğrisi Şekil 1'de verilmiştir [10]. Özgül ağırlığı 2,65 olan zeminin sınıfı kötü derecelendirilmiş kum (SP) niteliğindedir [11]. Maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlıkları sırasıyla $14,35 \text{ kN/m}^3$ ve $13,56 \text{ kN/m}^3$ 'tür. Kohezyon içeriğini arttırmak amacıyla karışımlara ağırlıkça %5,00 oranında eklenen sodyum bentonit kili ise %640,00 likit limit, %28,00 plastik limit, %48,00 optimum su muhtevası ve 2,69 özgül ağırlık değerine sahiptir.



Şekil 1. Silis kumuna ait gradasyon eğrisi

B. Kalıpların Üretimi

Standart çelik kalıpların su ile temasından kaynaklı paslanma problemi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle zemini dondurmak için kullanılacak kalıpların üretiminde üç boyutlu yazıcı teknolojilerinden yararlanılmıştır. Hammaddede olarak üç boyutlu yazıcılarda sıklıkla tercih edilen, doğal içeriğe sahip ve suya-dona maruz kalması durumunda herhangi bir sıkıntı yaşanmayan PLA (polilaktik asit) filamentleri kullanılmıştır. Üretilen kalıpların tasarımı Sketch Up programında yapılmıştır. Parçaların karşılıklı eşleşeceği çıkıntılar ile ilgili boşluklar bulunan ilk tasarımda kalıbı birleştirme ve donma sonrası ayırmada sorunlar yaşanmıştır (Şekil 2a). İkinci tasarımda ise bağlantı desteği sağlaması amacıyla sadece kalıbın alt tarafında yer alan çıkıntı ve civatalar kullanılarak kalıbın kolay ve düzgün bir şekilde birleşmesi sağlanmıştır. Kalıpların iç bölümünün çapı 3,50 cm ve yüksekliği 7,00 cm olmakla birlikte numune yerleştirilen net hacim $67,35 \text{ cm}^3$ 'tür.



Şekil 2. Numune kalıpları; a. İlk tasarım, b. Modelleme süreci ve c. Sızdırmaz kalıp çıktısı

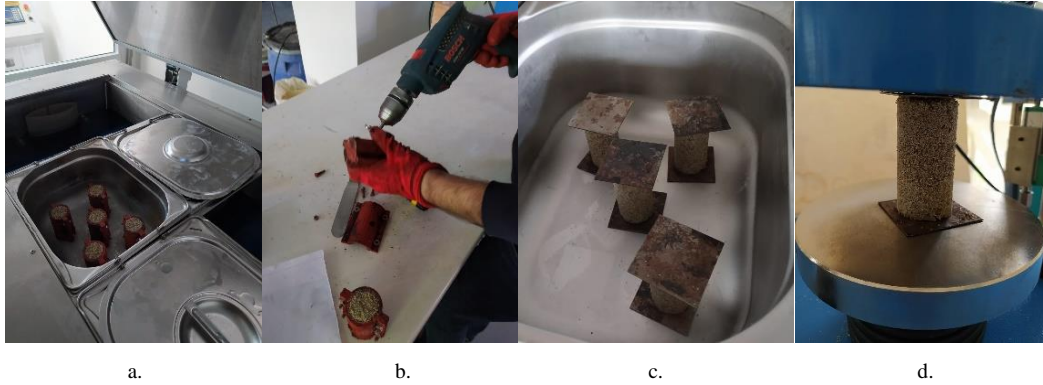
Üç boyutlu yazıcılarda basım ayarları önem arz etmektedir. Basım sürecinde açık kaynak kodlu Cura yazılımı kullanılmıştır. Çıktı kalitesini etkileyen en önemli özellik katman yüksekliğidir. Katman yüksekliği azaldıkça basım kalitesi artmakla birlikte basım süresi de artmaktadır. Önceki basımlarda elde edilen tecrübe doğrultusunda katman yüksekliği 0,20 mm, dolgu oranı %20,00 ve dolgu tipi ise “gyroid” seçilmiştir (Şekil 2b). Basım ayarları yapıldıktan sonra “gcode” formatına çevrilen tasarımlar, üç boyutlu yazıcıya aktarılarak toplam 20 adet kalıp çıktısı başarıyla tamamlanmıştır. Eriyik yığma prensibi (FDM) ile çalışan bu tip yazıcılarda; x ve y koordinatlarında hareket eden başlık ile filamentler gerekli yerlere aktılırken, katmanların oluşmasını sağlayan z eksenindeki hareketi ise tabla yapmaktadır. Çark sistemi sayesinde filament aşağıda yer alan ekstrüde kısma doğru itilmektedir. Bu bölümde filament yüksek sıcaklıklarda eritilerek yazılımda belirlenen koordinatlara katmanlar halinde aktılmaktadır. Kalıp parçaları vida ve civata kullanılarak birleştirilmiş, sıvı conta sayesinde de sızdırmazlık sağlanmıştır (Şekil 2c).

C. Numunelerin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan SPA jeli; su, çimento ve sodyum poliakrilat karışımından oluşmaktadır [2]. 1,00 gram sodyum poliakrilat yaklaşık 125,00 gram su emerek jel forma dönüşmektedir. Dolayısıyla numunelere sodyum poliakrilat miktarının ağırlıkça 125 katı kadar su eklenmiştir. Sodyum poliakrilat jelinin suyu salmaması amacıyla kullanılan kuru kimyasalın %25,00’i kadar eser miktarda çimento eklenmiştir. Silis kumuna %5,00 %10,00, %15,00 ve %20,00 oranlarında SPA jeli eklenerek numuneler kalınmıştır. İnce malzeme etkisini incelemek amacıyla genel karışımda %5,00 oranında bentonit içeren numuneler de ayrıca hazırlanmıştır (Tablo 1). Numunelere kalıplarıyla birlikte CDF/CIF donma cihazında 24 saat -20°C’de ön dondurma işlemi uygulanmıştır. Bu süreçte, kalıplar yan ve alt yüzeylerde sargı basıncı oluşturduğu için donmamış numuneler sadece tepe bölgesinde serbest bırakılmış ve tek doğrultulu hacim değişimi sağlanmıştır. Ön dondurma sonunda kalıplar hızla sökülüş ve alt - üst yüzeylerine metal plakalar yerleştirilerek 24 saat daha -20°C’de dondurma işlemine maruz bırakılmıştır (Şekil 3a-b-c). Bu süreçte ise kalıplardan çıkarılan numune yüzeylerindeki olası kısmi çözümlerin tekrar dondurulması, tesviyenin sağlanması ve basınç deneyleri sırasında numunelerle cihaz başlıkları arasındaki direkt temasın önlenmesi hedeflenmiştir. Donmuş numunelerin çözülmesine izin verilmeden oda sıcaklığında 1,00 mm/dk yükleme hızıyla serbest basınç deneyleri yapılmıştır (Şekil 3d).

Tablo 1. Numunelerde kullanılan malzeme miktarları

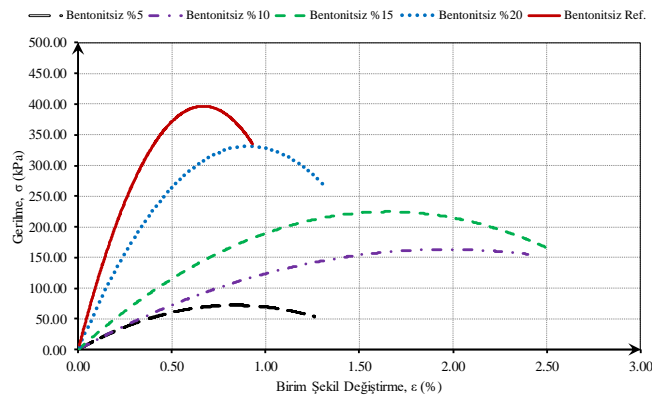
Bileşen	Bentonitsiz				Bentonitli			
	%5,00	%10,00	%15,00	%20,00	%5,00	%10,00	%15,00	%20,00
Sodyum Poliakrilat (gr)	0,04	0,09	0,13	0,19	0,04	0,09	0,13	0,19
Su (gr)	5,00	10,74	16,20	23,47	5,00	10,74	16,20	23,47
Çimento (gr)	0,01	0,02	0,03	0,05	0,01	0,02	0,03	0,05
Jel (gr)	5,05	10,84	16,37	23,71	5,05	10,84	16,37	23,71
Silis kumu (gr)	95,97	97,59	92,74	94,83	91,17	92,71	88,10	90,08
Bentonit (gr)	-	-	-	-	9,85	15,72	21,00	28,45
Yoğunluk (gr/cm ³)	1,50	1,61	1,62	1,76	1,50	1,61	1,62	1,76



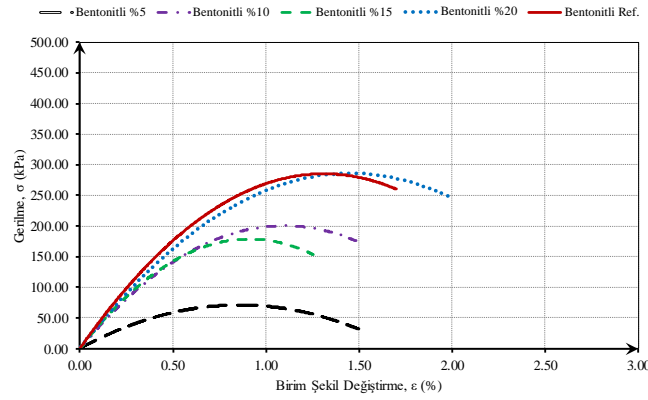
Şekil 3. a. Ön dondurma işlemi, b. Kalıpların sökülmesi, c. İkinci dondurma süreci ve d. Serbest basınç deneyi

III. DENEY SONUÇLARI

Donmuş numuneler üzerinde gerçekleştirilen serbest basınç deneylerine ait gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri Şekil 4'te sunulurken, ortalama nihai yük değerleri ve bu değerlere karşılık gelen ortalama birim şekil değiştirme sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Her tip için en az 5 adet numune üretilip deneyler yapılarak eşdeğer eğilim çizgileri oluşturulmuştur. Donma olayı su muhtevası ile doğrudan ilişkili olduğu için kıyaslama yapmak amacıyla katkısız referans numunelerine, jel içeren numunelerdeki en yüksek su içeriği kadar ağırlıkça %20,00 oranında su eklenerek dondurulmuştur. Jel içermeyen diğer su içeriği değerlerinde ise boşluklar yeterince su ile dolmadığı için homojen dağılım ve yeterli donma seviyesi sağlanamamış, öngörülen donmuş numune boyuna ulaşamamıştır. Bu yüzden, referans sonuçları kumlu numunelerdeki %20,00 su içeriğini yansıtmaktadır. Bentonit içeriğinden bağımsız olarak %5,00, %10,00 ve %15,00 oranlarında jel içeren donmuş numunelerin serbest basınç dayanımları referans numunelerine kıyasla azalmaktadır. %20,00 jel oranında ise bentonitsiz durumda referans değerine göre %16,41 gibi bir fark gözlenirken, bentonitli durumda referans değerine ulaşılmaktadır. En yüksek serbest basınç mukavemetine 400,00 kPa civarında bentonitsiz referans numunesinde erişilmiştir. Hem bentonitli hem de bentonitsiz numunelerde SPA jeli miktarındaki artış ile birlikte donmuş serbest basınç mukavemetinde artış görülmektedir. Sadece, %15,00 oranında SPA içeren bentonitli numunelerde genel eğilime oranla kısmi bir azalma meydana gelmiştir. Diğer taraftan, Özbakan [1] tarafından aynı zemin tipi ve SPA katkılarıyla bentonitli donmamış numunelerde yapılan serbest basınç deneyi sonuçları da Tablo 2'de verilmiştir. Yeterli miktarda kohezyon içermemesinden dolayı SPA + silis kumlu donmamış numunelerde serbest basınç deneyleri yapılamamıştır. Dolayısıyla, donmuş tüm numunelerde donmamış numunelere göre 18 kata varan mukavemet artışı elde edilmiştir. Nihai serbest basınç dayanımına karşılık gelen birim şekil değiştirme davranışları açısından tutarlı sonuçlar gözlenmemekle birlikte, bentonitsiz ve bentonitli donmuş numunelerde sırasıyla %10,00 ve %20,00 SPA jel içeriğinde %1,97 ile %1,45 seviyelerinde en yüksek seviyelere ulaşılmıştır.



a.



b.

Şekil 4. Serbest basınç deneyi sonuçları; a. Bentonitsiz numuneler ve b. Bentonitli numuneler

Tablo 1. Serbest basınç deneyinde elde edilen nihai gerilme - birim şekil değiştirme değerleri.

SPA Katkı Oranı (%)	Serbest Basınç Dayanımı (kPa)			Birim Şekil Değiştirme (%)		
	Bentonitsiz	Bentonitli	Bentonitli (Donmamış) [1]	Bentonitsiz	Bentonitli	Bentonitli (Donmamış)[1]
5,00	72,04	71,06	15,69	0,84	0,86	23,15
10,00	163,12	200,51	22,88	1,97	1,10	11,80
15,00	224,50	178,75	23,21	1,65	0,91	22,92
20,00	331,56	285,97	18,63	0,91	1,45	23,08
Referans	396,69	285,34	21,57	0,67	1,31	18,60

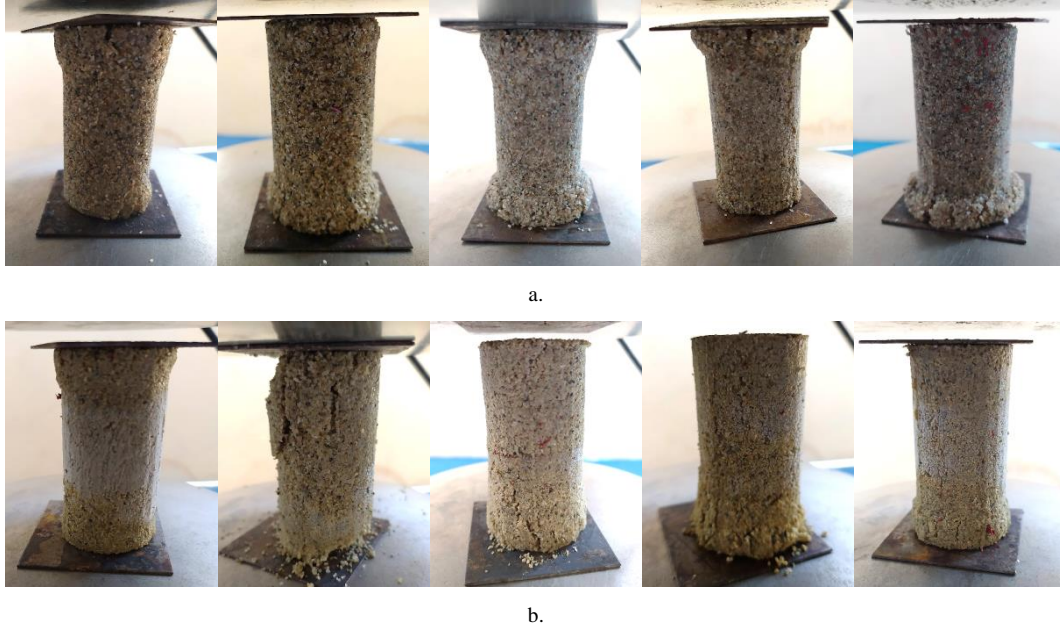
Tüm numunelerde SPA jel içeriğinin artışıyla birlikte doğru orantılı olarak artan su içeriği sebebiyle elastisite modüllerinin arttığı görülmüştür. Bu durum buzun rijit yapısının basınç dayanımını arttırıcı etkisi ile açıklanabilmektedir. Su miktarı arttıkça buz miktarı da artmakta ve serbest basınç dayanımı da artmaktadır. Ancak zemin içerisindeki su miktarındaki artış donma olaylarında gözlenen donma kabarması ve çözülme oturması seviyelerini arttırmaktadır. Bentonitsiz referans numunelerinin kalıp ile 1 gün dondurucu cihazda bekletilmesinin ardından yüzeyde oluşan buz katmanı donma kabarmasını göstermektedir (Şekil 5). Bu durum bentonitli referans numunesi ya da sodyum poliakrilat içeren diğer numunelerde gözlenmemiştir. Ayrıca bu numune tipi diğer numunelere kıyasla çok daha hızlı erimektedir.



Şekil 5. Bentonitsiz referans numunelerinde karşılaşılan donma kabarması problemi

Şekil 6'da tüm numunelerin deney sonu görselleri verilmiştir. Numunelere bentonit eklenmesi ve SPA jel içeriğiyle artan su muhtevası ile birlikte göçme sonrası daha stabil davranış elde edilmiştir. Bentonitsiz numunelerde alt veya üst bölgelerde hızlı dağılma meydana gelirken, bentonitli numunelerde kohezyon artışıyla birlikte 45°'ye yaklaşan çatlaklar oluşmuştur. %20'nin altındaki tüm jel içeriklerindeki su muhtevalarında

boşluklar yeterince su ile dolmadığı için rijit buz davranışı elde edilememekte ve hem serbest basınç dayanımı hem de göçme davranışları açısından katkısız duruma göre olumsuz sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan katkısız donmuş zeminlerde deney sonrası karşılaşılan hızlı erime davranışı [1], jel katkılı numunelerde gözlenmemiştir.



Şekil 6. Sırasıyla; referans, %5,00, %10,00, %15,00 ve %20,00 SPA jeli içeren numunelerin serbest basınç deneyi sonrası göçme modları, a. Bentonitsiz numuneler ve b. Bentonitli numuneler

IV. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, yeni bir zemin iyileştirme yöntemi olarak anılan sodyum poliakrilat (SPA) jelinin sıvılaştırılabilir kumlu zemine eklenmesi durumunda donma davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Referans numunelerine ek olarak hem bentonitsiz hem de %5,00 oranında bentonit katkılı zemin numunelerine, %5,00 ile %20,00 arasında SPA jeli eklenerek numuneler dondurulmuş ve sonrasında serbest basınç deneylerine tabii tutulmuştur.

- Bentonit içermeyen kötü derecelenmiş donmamış kumda serbest basınç deneyi yapılamazken, donmuş referans numunelerinin serbest basınç dayanımları yaklaşık 400,00 kPa seviyesine ulaşmaktadır. Donmamış bentonitli numunelerde SPA içeriğine bağlı olarak 15,69 kPa ile 23,21 kPa arasında değişen değerler gözlenirken, donmuş numunelerde ise 285,00 kPa mertebelerine ulaşılmıştır.
- Jel içeriği ile artan su muhtevası ile birlikte buz oranı da artmakta ve geneli itibariyle serbest basınç dayanımı artarken, bentonitsiz numunelerde birim şekil değiştirme değerleri artmakta, diğerlerinde azalmaktadır. Benzer şekilde zemine %5,00 bentonit eklenmesi durumunda serbest basınç dayanımı ortalama %14,00 oranında düşmektedir.
- SPA jeli içeren kumlu zeminin dona maruz kalması durumunda, çalışmada kullanılan zeminde tamamen doygunluğu sağlayan %20,00 su içeriğinde katkısız donmuş numunelere kıyasla %16,41 oranında kısmi bir azalma gözlenirken, aynı su muhtevastaki bentonitli numunelerde referans dayanımına ulaşılmaktadır. Diğer tüm katkı oranlarında taşıma kapasitesinin ciddi seviyede azaldığı görülmüştür. Bu yüzden, söz konusu kimyasal iyileştirmenin yüzeye yakın ve kısmen doygun kumlu zeminlerde kullanılması durumunda donma sürecindeki taşıma kapasitesi kayıplarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir.
- Sonuçta, SPA ve bentonit içeriğinden bağımsız olarak donmuş tüm numunelerde ciddi seviyede rijit yapı elde edilmiştir. Dolayısıyla sıvılaştırılabilir kumlu zemin içerisine sodyum poliakrilat enjeksiyonu ile iyileştirme yapıldığı takdirde gerek doğal donma sürecinde gerekse yapay zemin dondurma uygulamalarında serbest basınç dayanımı açısından olumsuz bir etki ile karşılaşılmamaktadır. Aynı su

muhtevasına sahip SPA katkılı ve katkısız numunelerde yakın sonuçlar gözlemlendiği için SPA oranından ziyade su içeriğinin baskın parametre olduğu belirtilebilir. Diğer taraftan, SPA ile iyileştirilmiş yüksek sıvılaştırma potansiyeline sahip kötü derecelenmiş kumda donma kabarması ve çözülme oturması problemleri engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından kabul edilen 219M397 numaralı 1001 projesi ve ilgili projedeki 2247-C STAR programı kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Özbakan, N. (2021). *Sodyum poliakrilat ve geçirimsiz tabaka uygulamalarının zemin sıvılaştırma potansiyeline etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [2] Güler, Ö. F., Özbakan, N., & Evirgen, B. (2021). Aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi için sodyum poliakrilat uygulamalarının değerlendirilmesi. *6. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 13-15 Ekim, Kocaeli.
- [3] Evirgen, B., Onur, M. I., Tuncan, M., & Tuncan, A. (2014). Determination of the freezing effect on unconfined compression strength and permeability of saturated granular soils. *Fourth International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment*, 19-21 November, Brisbane, 300-304.
- [4] Zhao, X., Zhou, G., & Wang, J. (2013). Deformation and strength behaviors of frozen clay with thermal gradient under uniaxial compression. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 38, 550-558.
- [5] Zhang, Z., Zhang, H., Zhang, J., & Chai, M. (2019). Effectiveness of Ionic Polymer Soil Stabilizers on Warm Frozen Soil. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 23, 2867-2876.
- [6] Li, F., Su, L., Wan, H., Niu, F., & Ling, X. (2021). Experimental investigation on dynamic characteristics of sandy gravel infrozen region. *Cold Regions Science and Technology*, 185, 103251.
- [7] Keskin, S. N., Sungur, A., Akan, R., & Uzundurukan, S. (2017). İnce daneli zeminlerde katkı maddelerinin ve donma-çözülme çevriminin serbest basınç dayanımına etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5, 473-478.
- [8] Yu, W., Lai, Y., Zhang, X., Zhang, S., & Xiao, J. (2004). Laboratory investigation on cooling effect of coarse rock layer and fine rock layer in permafrost regions. *Cold Regions Science and Technology*, 38, 31-42.
- [9] Thornley, J. D., & Moran, N. (2017). Estimating liquefaction potential of thawing permafrost soils, an evaluation of frozen and recently thawed soils. *Congress on Technical Advancement 2017: Cold Regions Engineering*, 141-150.
- [10] TS 1900-1. (2006). İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Bakanlıklar, Ankara.
- [11] ASTM D2487-17e1. (2017). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), West Conshohocken, USA.

Araştırma Makalesi - Research Article

Yeni Tiyazolil-Hidrazin Türevlerinin Sentezi ve Asetilkolinesteraz (AChE) ve Bütirilkolinesteraz (BuChE) Aktivite Çalışmaları

Synthesis of Novel Thiazolyl-Hydrazine Derivatives and Activity Studies of Acetylcholinesterase (AChE) and Butyrylcholinesterase (BuChE)

Ayşen Işık^{1*}, Ulviye Acar Çevik², Tuğba Erçetin³, Ahmet Koçak⁴

Geliş / Received: 02/11/2021

Revize / Revised: 29/04/2022

Kabul / Accepted: 05/05/2022

ÖZ

Alzheimer hastalığı (AH), zamanla beyin hücrelerinin ölümüne bağlı olarak bilişsel işlevlerde azalma, hafıza kaybı ve bunama ile ilişkilendirilmiştir. Alzheimer hastalığının tedavisinde sınırlayıcı uygulamaların mevcut oluşu, hastalığın sağlık harcamalarında kanser ve kalp hastalıklardan sonra dünyada üçüncü sırada oluşu araştırmacıları AH üzerinde erken evrede tanıma ve yeni tedavi yöntemlerine yönlendirmektedir. Günümüzde kolinerjik anomalikler ile AH arasında doğrudan bir ilişki olduğu düşünülmektedir. Çalışmalar, asetilkolinesteraz (AChE) ve bütirilkolinesteraz (BuChE) inhibisyonunun asetilkolin (ACh) seviyesinde meydana gelen artışların Alzheimer hastalığının başlangıç evrelerindeki bilişsel yetmezliği iyileştirebileceğini kanıtlamıştır. Dolayısıyla ACh düzeylerini arttırmak için uygulanacak en iyi metot ise, ACh'yi yıkan AChE veya BuChE enzimlerinin baskılanmasıdır. Dolayısıyla yapılan bu çalışmada, süstitüe edilmiş tiyazolilhidrazin türevleri tasarlanmış, sentezlenmiş ve AH' ye karşı asetilkolinesteraz (AChE) ve bütirilkolinesteraz (BuChE) kolinesteraz enzimlerinin inhibisyon potansiyelleri araştırılmıştır. Hedef bileşiklerin yapıları ¹H NMR/¹³C NMR analiz yöntemleri ile aydınlatılmıştır. Hedef bileşiklerin AChE ve BuChE enzimleri üzerindeki inhibisyon etkileri Ellman yöntemi ile değerlendirilmiş ve hedef bileşiklerin enzim inhibisyon çalışmaları sonucunda **3d** bileşiğinin orta düzeyde bütirilkolinesteraz enzimini inhibe ettiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Alzheimer Hastalığı, Tiyazolilhidrazin, Ellman Metot

ABSTRACT

Alzheimer's disease (AD) has been associated with decreased cognitive function, memory loss, and dementia due to the death of brain cells over time. Existence of limiting practices in the treatment of AD, and the fact that the disease ranks third in health expenditures in the world after cancer and heart diseases, directs researchers to early diagnosis and new treatment methods on AD. Today, it is thought that there is a direct relationship between cholinergic abnormalities and AD. Studies have shown that acetylcholine (ACh) level increases due to

^{1*}Sorumlu yazar iletişimi: isik.aysen@selcuk.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-1280-0019>)

Fen Fakültesi, Biyokimya Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye

²İletişim: uacar@anadolu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-1879-1034>)

Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Kimya Anabilim Dalı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

³İletişim: tugba.ercetin@emu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7774-7266>)

Eczacılık Fakültesi, Farmakognozi Anabilim Dalı, Doğu Akdeniz Üniversitesi, Kıbrıs

⁴İletişim: akocak@selcuk.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2487-2431>)

Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye

acetylcholinesterase (AChE) and butyrylcholinesterase (BuChE) inhibition can improve cognitive impairment in the initial stages of Alzheimer's disease. The best method to increase these ACh levels is to suppress the AChE or BuChE enzymes that break down ACh. Therefore, in this study, substituted thiazolyldiazine derivatives were designed, synthesized and their cholinesterase inhibitory effects on acetylcholinesterase (AChE) and butyrylcholinesterase (BuChE) enzymes against AD were investigated. The structures of the target compounds were illuminated by ¹H NMR/¹³C NMR analysis methods. The effects of the target compounds on the on AChE and BuChE enzymes were evaluated using the Ellman process and as a result of the enzyme inhibition studies of the target compounds, it was determined that the **3d** compound showed moderate butyrylcholinesterase activity.

Keywords- Alzheimer's Disease, Thiazolyldiazine, Ellman Method

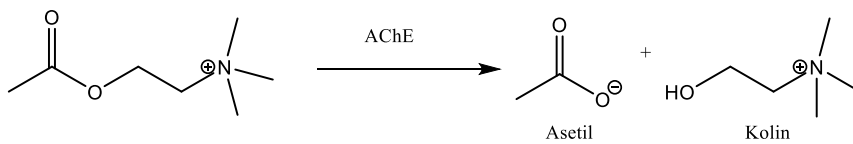
I. GİRİŞ

Alzheimer hastalığı (AH) ilk olarak 1901 yılında Alman psikiyatrist Dr. Alois Alzheimer tarafından hastalarından birinde AH' nin tipik semptomlarını tanımlamasıyla keşfedildi. Günümüzde AH, dünya çapında yaygınlığı nedeniyle en çok araştırılan nörodejeneratif bozukluklardan biridir. Günümüzde yaklaşık 30 milyon insan bu hastalıktan etkilenmektedir [1] ve bu sayının önümüzdeki on yıllarda ikiye katlanması beklenmektedir [2]. AH, kademeli olarak gelişen ve geri dönüşü olmayan bir beyin hastalığıdır. AH, hafıza kaybı, dil bozukluğu, oryantasyon bozukluğu, soyut düşünme bozukluğu, ruh hali değişimleri, davranış değişiklikleri, inisiyatif kaybı ve günlük görevleri yerine getirmede sorun ile karakterizedir [3,4].

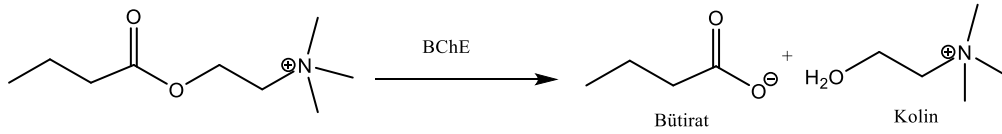
AH oluşumunun ve ilerlemesinin kesin nedenleri henüz tam olarak anlaşılmamıştır. Günümüzde AH, hem genetik hem de çevresel faktörlerin bir kombinasyonuna bağlı olarak gelişen patolojik bir rahatsızlık olarak ele alınmaktadır [5]. Bu faktörler; yaş, cinsiyet, oksidatif hasar, aile yaşam hikayesi, genetik ve kalp-beyin arasındaki ilişki gibi faktörlerdir [6]. Günümüzde Alzheimer hastalığının moleküler mekanizmasının açıklanmasında iki temel hipotez kabul görmektedir. Bunlar; amiloid kaskat ve kolinerjik hipotezdir [7]. Kolinerjik hipotezde kabul gören gerçek, Alzheimer hastalığının asetilkolinesteraz (AChE), bütirilkolinesteraz (BuChE) ve kolin asetiltransferaz (ChAT) gibi kolinerjik sistemlerin değişimiyle ilişkili olduğu ve bunu takriben de Alzheimer hastalarında kolinerjik nöronların dejenerasyonu neticesinde kavrama bozukluklarının da görülebildiğidir. Bu nedenle de kolinerjik sistemler arasındaki değişimler ile Alzheimer hastalığı arasında doğrudan bir ilişki olduğu düşünülmektedir.

İnsanlarda asetilkolinesteraz (AChE) ve bütirilkolinesteraz (BuChE) olmak üzere kolinesterazların iki formu bulunmaktadır[8]. Beyindeki kolinesteraz aktivitenin %80' inden sorumlu olan AChE, kolin esterlerini hidrolize eden ve beyin, sinir ve kırmızı kan hücrelerinde yüksek konsantrasyonlarda bulunan spesifik bir esterazdır. Beyindeki kolinesteraz aktivitenin geri kalan kısmından yani %20' sinden sorumlu olan BChE ise; kolin esterlerini ve diğer esterleri de hidrolize eden ve kan serumu, pankreas, karaciğer ve merkezi sinir sisteminde bulunan spesifik olmayan bir kolin esterazdır. Asetilkolinesteraz etkisini, beynin ve otonom sinir sisteminin kolinerjik sinapslarında asetilkolinin hidrolizini katalize ederek gerçekleştirir. Bütirilkolinesteraz ise; sinaptik aralığın dışına yayılan asetilkolini parçalayarak adeta AChE'nin yedeği olarak iş görür. Bütirilkolinesterazın beyindeki rolü belirsizliğini hala korumaktadır [9].

AChE, 537 amino asit uzunluğunda saniyede 250.000 kadar asetilkolin molekülünü hidrolize eden bir peptid monomeridir. AChE'nin moleküler yapısı 14 alfa sarmal ile çevrili 12 beta levhadan oluşmaktadır [10]. Bütirilkolinesteraz (BChE) ise yaklaşık olarak 342.000 Da ağırlığında tetramerik bir glikoproteindir [11]. Asetilkolinesteraz ve bütirilkolinesteraz enzimlerinin aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi moleküler formları ve aktif merkez yapıları benzer iki enzimdir [12,13] (Şekil 1 ve Şekil 2).



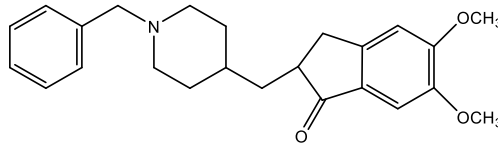
Şekil 1. Asetilkolinesterazın Hidroliz Reaksiyonu



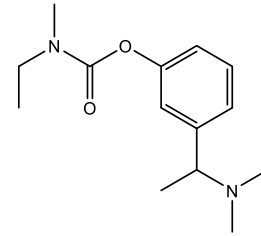
Şekil 2. Bütirikolinesterazın Hidroliz Reaksiyonu

AH' nin progresyonu sırasında ön beyinde kolinerjik nöronların yüksek oranda hasara uğradığı gözlenmiştir [14,15]. Asetilkolinesterazı (AChE) inhibe ederek sinapta asetilkolin konsantrasyonunun (ACh) artırılması, AH'nin ilerlemesini yavaşlatan yaklaşımlardan biridir [16-22].

Günümüzde Alzheimer hastalığının tedavisi için kullanılan beş farklı ilaç formu mevcuttur. Fakat bu ilaçlar hastalığı iyileştirmekten ziyade semptomlarını azaltmayı hedeflemektedir. Bu ilaçlar; donepil, rivastigmin, galantamin, memantin ve donepezildir [23]. Kolinesteraz inhibitörü bu ilaçları kullanan hastaların %50'sinde semptomların ilerlemesinin 6-12 ay kadar geciktiği rapor edilmiştir. Donepezil, Alzheimer hastalığının tüm aşamalarında, rivastigmin ve galantamin ise öncelikle hafif-orta dereceli Alzheimer hastalığının tedavisinde onaylanmış ilaçlardır [24]. (Şekil 3 ve Şekil 4)



Şekil 3. Donepezil' in Kimyasal Yapısı



Şekil 4. Rivastigmin'in Kimyasal Yapısı

Mevcut olan bu ilaçlardan özellikle galantamin, rivastigmin ve donepezil gibi kolinesteraz inhibitörleri (ChEi) esas olarak periferik bölgeye rekabetçi ve geri dönüşümlü bir şekilde bağlanır ve ACh'yi sinapta yedekler ve böylece kolinerjik iletimin iyileştirilmesine yardımcı olur [25,26]. Rivastigmin ayrıca beynin temporal korteks bölgesinin glial hücrelerinde bulunan bütirikolinesterazı (BuChE) hidrolize edebilir [27]. AChE inhibisyonu, sağlıklı bir beyinde ACh'nin aracılık ettiği normal nörotransmisyonun korunmasına yardımcı olabilir ve AH'nin oluşumunu önleyebilir veya ilerlemesini yavaşlatabilir. Bununla birlikte, AH' in geç evrelerinde, AChE konsantrasyonu önemli ölçüde azalır (%45'e kadar) ve BuChE artar (%40-90'a kadar). Bu nedenle, her iki enzim karşı da etkili olan ChEi, AH tedavisinde oldukça önemli bir yere sahiptir [28].

Yeni ve etkili AChE ve BuChE inhibitörlerinin geliştirilmesinde, Alzheimer'ın günümüz tedavisinde kullanılan galantamin ve donepezil gibi ilaçlar da dahil olmak üzere ciddi derecede inhibitör aktivite gösteren birçok bileşiğin yapısında oldukça fazla sayıda heterosiklik halkanın varlığı da etkili olmuştur. [29,30].

Son birkaç on yılda, tiyazollerin kimyası ve bunların heterosiklik türevleri, sentetik ve biyolojik önemlerinden dolayı büyük ilgi görmüştür. Tiyazol grubu taşıyan bileşiklerin, antikolinesteraz aktivitesi dahil olmak üzere geniş bir biyolojik etki spektrumu sergilediği rapor edilmiştir [31,32]. Ayrıca literatür araştırmalarında hidrazin grubunun da antikolinesteraz aktivite için önemli bir rol oynadığı da rapor edilmiştir [33]. Dolayısıyla yapılan bu çalışmada çeşitli gruplarla süstitüe edilmiş 4-(4-süstitüe)-2-{2-[4-(4-metoksipiperazin-1-il)benziliden]hidrazinil} tiyazol türevleri tasarlanmış ve sentezlenmiştir. Ayrıca Alzheimer hastalığı, kolinesteraz enzimleri ile ilişkisi bazında bakıldığında, Alzheimer hastalığı sürecinde ilk olarak AChE aktivitesi giderek azalırken BChE aktivitesi arttığından ve sonrasında BChE enzimi ACh metabolizması için telafi edici bir mekanizma oluşturduğundan dolayı ACh düzenlemesi giderek BChE'ye bağımlı hale gelebilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada Alzheimer Hastalığına karşı hem asetilkolinesteraz (AChE) hem de bütirikolinesteraz (BuChE) enzim inhibisyon potansiyelleri değerlendirilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Sentez Çalışmaları

4-(4-Metoksifenilpiperazin-1-il)benzaldehit Sentezi(1):

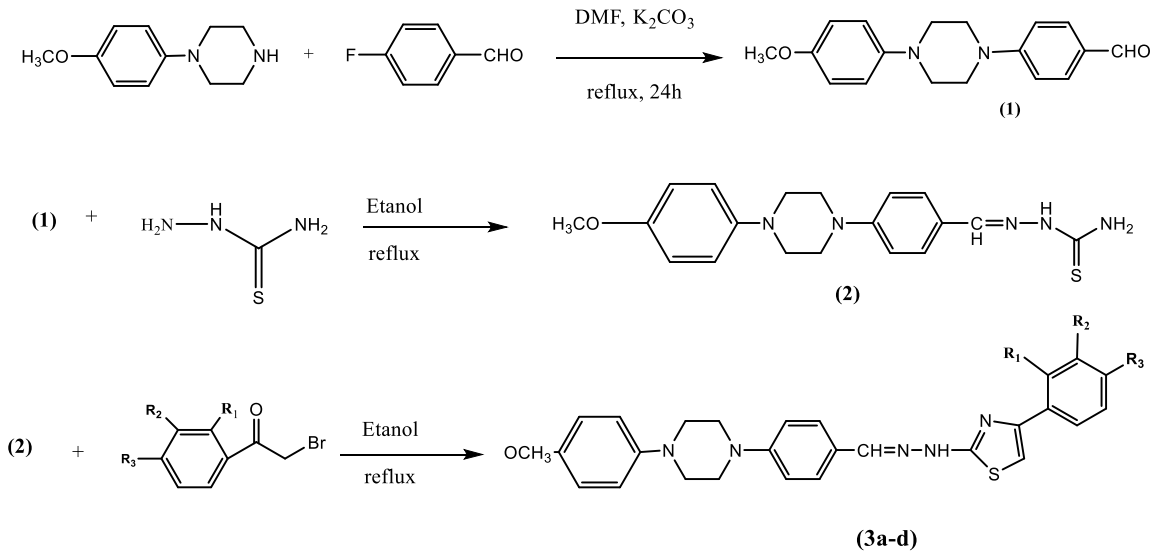
1-Metoksifenilpiperazin (0.04 mol, 4.00 g) ile 4-florobenzaldehit (0.04 mol, 4.96 g) potasyum karbonat (0.048 mol, 6.61 g) varlığında EtOH içerisinde geri soğutucu altında 24 saat ısıtılarak karıştırıldı. Reaksiyon karışımı buzlu suya döküldükten sonra çöken ürün süzülerek alındı ve etanolden kristallendirildi.

2-[4-(4-Metoksifenilpiperazin-1-il)benziliden] hidrazinkarbotiyoamid Sentezi(2):

Eşit miktarlarda alınan 4-(4-metoksifenilpiperazin-1-il)benzaldehit (1) (0.030 mol, 8.89 g) ve tiyosemikarbazid (0.030 mol, 2.74 g) etanol (100 mL) içerisinde geri soğutucu altında 3 saat ısıtılarak karıştırıldı. Reaksiyonun tamamlanmasının ardından karışım soğutuldu ve çöken ürün süzüldü ve etanolden kristallendirildi.

4-(4-süstitüe)-2-[2-[4-(4-metoksifenilpiperazin-1-yl)benziliden]hidrazinil} tiyazollerin Sentezi(3a-3d):

Eşit miktarlarda alınan 2-[4-(4-Metoksifenilpiperazin-1-il)benziliden] hidrazinkarbotiyoamid (2) ve uygun fenaçil bromür türevleri etanolda geri soğutucu (reflux) altında 4 saat boyunca ısıtılarak karıştırılmıştır. Çöken ürün süzülerek alınmış ve etanolden kristallendirilerek saflaştırılmıştır.



Bileşik	R ₁	R ₂	R ₃
3a	H	H	F
3b	H	H	CH ₃
3c	Cl	H	Cl
3d	H	Cl	Cl

Şekil 5. Tiyazolidin hidrazin bileşiklerinin sentezi

B. Erime Noktalarının Tespiti

Hedef bileşiklerin erime derecelerinin (E.N) belirlenmesi, toz hale getirilen maddenin kapillerborulara ½ cm doldurulduktan sonra Elektrotermal erime noktası tayincihazında yapılmıştır.

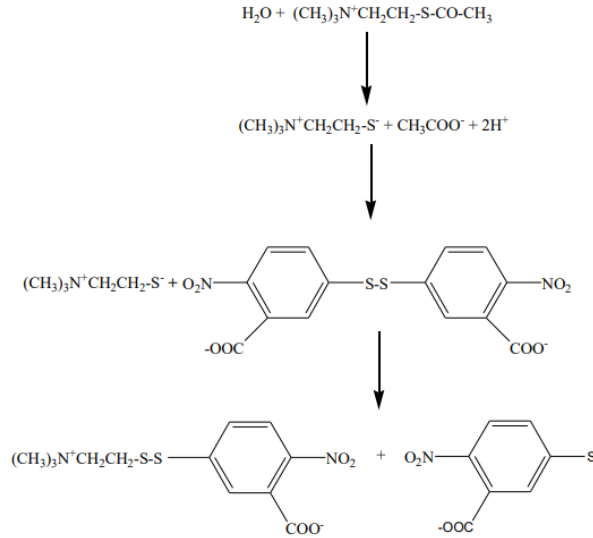
C. ¹H-NMR ve ¹³C-NMR Spektrumlarının Alınması

Hedef bileşiklerden 5 mg alınarak dötero dimetilsülfoksit (DMSO) içinde çözündürülüp ve tetrametilsilan'a karşı 300 (1H NMR) ve 75 MHz'lık (13C NMR) NMR spektrometresine verilmesi sonucu alınmıştır.

D. Enzim Aktivite Çalışmaları

Sentezlenen tüm orijinal bileşikler, AChE ve BChE enzimlerini inhibe etme potansiyelleri Ellman Testi ile test edilmiştir. Ellman metodu, 405 nm absorbans değerindeki farklılıkların ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Bu metod ilk olarak 1961 yılında Ellman ve arkadaşları tarafından açıklanmıştır. Bu yöntemde asetilkolinin oksidasyonunun yerine tiyoesteri olan asetiltiyokolini kullanılır. Asetiltiyokolini tiyokolini ve asetat

haline hidroliz eder ve oluşan tiyokolin reajan olarak kullanılan DTNB 405 nm’ de absorbands veren nitrobenzoata dönüştürür. Ellman yöntemine ait reaksiyon mekanizması aşağıda verilmiştir. (Şekil 6.) [34].



Şekil 6. Ellman Metotuna ait Reaksiyon Mekanizması

Hedef bileşikler AChE ve BChE inhibitör aktiviteleri Ellman 'ın modifiye spektrofotometrik yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Kolinesteraz aktivite çalışmaları için AChE (Tip-VI-S, EC 3.1.1.7, Sigma) ve BChE (EC 3.1.1.8, Sigma) enzimleri asetiltiyokolin iyodür ve bütiriltiyokolin klorür(Sigma, St. Louis, MO, ABD) reaksiyonlarının substratları olarak kullanılmıştır.

Kolinesteraz aktivitesinin ölçümü için; 50 mM Tris HCl tamponu (pH 8.0), 6.8 mM DTNB, 2 µl örnek çözeltileri ve 10 µl AChE/BChE çözeltileri hazırlanmıştır. İlk etapta reaksiyon, 10 µl asetiltiyokolin iyodür/bütiriltiyokolin klorür ilavesiyle başlatılmıştır. İkinci etapta ise; asetiltiyokolin iyodür/bütiriltiyokolin klorürün hidrolizi, DTNB'nin tiyokolinlerle reaksiyonunun bir sonucu olarak sarı 5-tiyo-2-nitrobenzoat anyonunun oluşumu 412 nm dalga boyunda enzimler tarafından katalize edilmesi ile izlenmiş ve 27°C'de 15 dakika inkübe edilerek periyodik olarak 75 saniyede bir ölçüm alınmıştır. Ölçümler ve hesaplamalar Varioskan Flash yazılımı için SkanIt Software 2.4.5 RE kullanılarak değerlendirilmiştir. AChE ve BChE'nin inhibisyon yüzdeleri, kör numuneye (DMSO ve metanol) göre numunelerin reaksiyon hızlarının karşılaştırılarak ve (ES)/E x 100 formülü kullanılarak belirlenmiştir. Burada E, test numunesi olmayan enzimin aktivitesi ve S, test numunesi olan enzimin aktivitesidir. Referans bileşik olarak ise, donepezil hidroklorür (Sigma Aldrich, USA) kullanılmıştır. Elde edilen absorbands değerler boş okunan (blank) değerleri ile doğrulanmıştır. Her bir deney dört tekrar ile yapılmıştır. % Enzim inhibisyon değerlerinin hesaplanabilmesi için ölçümlerdeki ortalama absorbands değerleri kullanılmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

2-{2-[4-(4-Metoksifenilpiperazin-1-il)benziliden]hidrazinil}-4-(4-florofenil)tiyazol (3a):

C₂₇H₂₆N₅O₅.MA:487.60 g/mol. Verim: 74 %. Erime Noktası: 282.4-284.2 °C. ¹H-NMR (300 MHz, DMSO-d₆): δ = 3.27 (4H, br.s., piperazin CH₂), 3.40 (4H, br.s., piperazin CH₂), 3.69 (3H, s., metoksi -OCH₃), 6.85 (2H, d, J=6.87 Hz, 1,4-disübstitüefenil), 6.97 (2H, d, J=6.87 Hz, 1,4-disübstitüefenil), 7.04 (2H, d, J=6.90 Hz, 1,4-disübstitüefenil), 7.22 (2H, m, J=6.66 Hz, 1,4-disübstitüefenil), 7, 26 (1H, s, tiyazol -CH), 7.52 (2H, d, J=6.81 Hz, 1,4- disübstitüefenil), 7.87 (2H, d, J=5.94 Hz, 1,4- disübstitüefenil), 7.94 (1H, s, -CH), 11.93 (1H, s, -NH). ¹³C-NMR (75 MHz, DMSO-d₆): δ=64.11, 65.57, 69.31, 101.56, 105.85, 106.84, 113.24, 113.94, 115.16, 118.15, 125.58, 132.84, 136.62, 137.83, 149.30, 149.58, 152.45, 154.90, 172.28.

2-{2-[4-(4-Metoksifenilpiperazin-1-il)benziliden]hidrazinil}-4-(4-metilfenil)tiyazol (3b):

C₂₈H₂₉N₅O₅.MA:483.63 g/mol. Verim: 76 %. Erime Noktası: 292.3-294.7 °C. ¹H-NMR (300 MHz, DMSO-d₆): δ = 2.31 (3H, s, -CH₃), 3.27 (4H, br.s., piperazin CH₂), 3.40 (4H, br.s., piperazin CH₂), 3.69 (3H, s., metoksi -OCH₃), 6.85 (2H, d, J=6.87 Hz, 1,4- disübstitüefenil), 6.85 (2H, d, J=9.15 Hz, 1,4- disübstitüefenil), 6.97

(3H, m, tiyazol -CH, 1,4- disüstitüefenil), 7.04 (2H, d, J=8.73 Hz, 1,4- disüstitüefenil), 7.20 (2H, d, J=7.65 Hz, 1,4- disüstitüefenil) 7.60 (2H, m, 1,4- disüstitüefenil), 7.74 (2H, d, J=8.10 Hz, disüstitüefenil), 7.94 (1H, s, -CH), 11.90 (1H, s, -NH). ¹³C-NMR (75 MHz, DMSO-d₆): δ= 25.77, 68.67, 79.91, 83.37, 107.76, 111.22, 117.10, 120.39, 121.95, 131.98, 133.022, 135.79, 137.34, 143.74, 145.47, 151.01, 155.33, 167.10, 167.96, 176.26

2-{2-[4-(4-Metoksifenilpiperazin-1-il)benziliden]hidrazinil}-4-(2,4-diklorofenil)tiyazol (3c):

C₂₇H₂₅Cl₂N₅OS.MA:538.49 g/mol.Verim: 72 %. Erime Noktası: 283.5-284.5 °C. ¹H-NMR (300 MHz, DMSO-d₆): δ = 3.46 (4H, br.s., piperazin CH₂), 3.68 (4H, br.s., piperazin CH₂), 3.75 (3H, s., metoksi -OCH₃), 6.98 (2H, d, J=8.88 Hz, 1,4- disüstitüefenil), 7.08 (2H, d, J=8.88 Hz, 1,4- disüstitüefenil), 7.37 (2H, br.d., 1,4- disüstitüefenil), 7.49 (1H, s, tiyazol -CH), 7.56 (2H, d, J=8.85 Hz, 1,4- disüstitüefenil), 7.69 (1H, s, 1,2,4- trisüstitüefenil), 7.88 (1H, s, 1,2,4- trisüstitüefenil), 7.96 (1H, s, -CH), 12.02 (1H, s, -NH). ¹³C-NMR (75 MHz, DMSO-d₆): δ= 47.13, 47.79, 52.06, 111.94, 115.14, 115.75, 118.85, 119.61, 125.71, 125.96, 127.99, 130.33, 132.67, 142.47, 144.04, 146.02, 147.80, 152.83, 155.47, 156.69, 172.28.

2-{2-[4-(4-Metoksifenilpiperazin-1-il)benziliden]hidrazinil}-4-(3,4-diklorofenil)tiyazol (3d):

C₂₇H₂₅Cl₂N₅OS.MA:538.49 g/mol.Verim: 74%. Erime Noktası: 266.3-268.2 °C. ¹H-NMR (300 MHz, DMSO-d₆): δ = 3.15 (4H, br.s., piperazin CH₂), 3.40 (4H, br.s., piperazin CH₂), 3.69 (3H, s., metoksi -OCH₃), 6.84 (2H, d, J=9.12 Hz, 1,4- disüstitüefenil), 6.96 (2H, d, J=9.06 Hz, 1,4- disüstitüefenil), 7.03 (2H, d, J=8.88 Hz, 1,4- disüstitüefenil), 7.51 (2H, br.d, 1,4- disüstitüefenil), 7.54 (1H, s, tiyazol -CH), 7.67 (1H, s, 1,3,4- trisüstitüefenil), 7.84 (1H, s, 1,3,4- tri disüstitüefenil), 7.94 (1H, s, 1,3,4- tri disüstitüefenil), 8.08 (1H, s, -CH). 11.99 (1H, s, -NH). ¹³C-NMR (75 MHz, DMSO-d₆): δ=48.10, 50.23, 55.66, 105.90, 114.79, 115.45, 118.39, 121.80, 125.10, 126.01, 127.74, 128.09, 130.06, 131.40, 131.90, 135.78, 135.92, 142.67, 152.12, 169.08.

Bu çalışmada, süstitüe edilmiş tiyazolilhidrazin türevleri tasarlanmış, sentezlenmiş ve AH' ye karşı asetilkolinesteraz (AChE) ve bütirikolinesteraz (BuChE) enzimleri üzerindeki inhibitör etkileri araştırılmıştır. Hedef bileşiklerin sentezi için ilk basamakta, 4-(4-(4-metoksifenil)piperazin-1-il)benzaldehit bileşiği (1), potasyum karbonat varlığında 1-(4-metoksifenil)piperazin ve 4-florobenzaldehitin reaksiyonuyla sentezlenmiştir. Bir sonraki adımda, bileşik 1, etanol içinde tiyosemikarbazid ile reaksiyona sokulmuştur (2). Son basamakta, bileşik 2 ve fenaçil bromür türevlerinin reaksiyonuyla hedef bileşikler 3a-3d elde edilmiştir (Şekil 5).

Sentezlenen bileşiklerin (3a-3d) yapıları ¹H NMR/¹³C NMR spektroskopi metotları ile doğrulanmıştır. Bileşiklerin ¹H-NMR spektrumlarında hidrazona ait C-H protonu yaklaşık 7,26-8,08 ppm'de belirlenirken, tiyazolile ait N-H protonları ise sırasıyla yaklaşık 11,90-12,02 ppm'de belirlenmiştir. ¹³C NMR spektrumları, aromatik ve alifatik iki ayrı bölgede, pikler tahmin edilen alanlarda tespit edilmiştir. Sentezlenen bileşiklerin AChE ve BuChE yüzde inhibisyon potansiyelleri değerlendirilmiştir. Referans bileşik olarak donepezil kullanılmıştır. Yüzdeinhibisyon değerleri olarak verilen sonuçlar Tablo 1'de özetlenmiştir. Hedef bileşiklerin AChE enzimi üzerindeki yüzde inhibisyon değerleri, modifiye Ellman prosesi ile araştırılmıştır. Bu metotta AChE enzimi öncelikle tiyokolin ve asetata parçalamaktadır. Açığa çıkan tiyokolin reaksiyonunun ikinci basamağında ilave edilen 5,5'-ditiyo-bis(2-nitro-benzoik) asit (DTNB) ile hidrolizi sonucu 2-Nitro-5((2-trimetilamino)etil)disülfanil)benzoata ve 5-Tiyo-2-nitro-benzoik aside dönüşmektedir. 5-Tiyo-2-nitro-benzoik asit sarı renkli ve 412 nm dalga boyunda maksimum absorpsiyon göstermektedir [34]. İnhibisyon çalışmalarında, hedef bileşikler ve referans ilaç olan Donepezil hidroklorür 10 µM konsantrasyonunda test edilmiştir.

Tablo 1. 3a-3d Bileşiklerinin ve Referans İlaç Donepezil' in AChE ve BuChE' ye karşı %İnhibisyon Değerleri

Bileşik	%AChE İnhibisyonu	%BuChE İnhibisyonu
3a	NA*	NA
3b	NA	12.87 ± 0.011
3c	NA	15.71 ± 0.008
3d	NA	20.37 ± 0.01
Donepezil HCl	98.86 ± 0.005	78.95 ± 0.031

*NA: Aktivite yok

Bu çalışmada hedef ürünler benzen halkası üzerinden türevlendirme yapılarak kolinesteraz inhibisyon değerleri araştırılmıştır. Benzen halkasının para konumunda flor süstitüenti taşıyan 3a bileşiği ile para konumunda metil süstitüenti taşıyan 3b bileşiği ve orto ve para konumlarında klor süstitüenti taşıyan 3c bileşiği ile meta ve para konumlarda klor süstitüenti taşıyan 3d bileşiklerinin sentezlenerek asetilkolinesteraz ve bütirilkolinesteraz enzimlerine karşı inhibe edici potansiyelleri değerlendirilmiştir. Enzim inhibisyon sonuçlarına göre; benzen halkası üzerinde 2. ve 4./3. ve 4. konumda klor süstitüentinin bulunması bütirilkolinesteraz aktiviteyi artırmıştır. Ayrıcabenzen halkasının 4. Konumda flor süstitüentinin bulunması da aktiviteyi azaltıcı yönde etki gösterdiği saptanmıştır.

Grubumuzun daha önce yapmış olduğu bir çalışmada yeni bir seri 1-süstitüe- pirol-2-karboksaldehit (4-(4-süstitüe fenil)-1,3-tiyazol-2-il) hidrazon bileşikleri (1-14) sentezlenmiş ve asetilkolinesteraz aktiviteleri değerlendirilmiştir. Buna göre; en etkili bileşik 1 in IC₅₀ değeri 0.59 mM olarak bulunmuştur [35].

Dolayısıyla yapılan tüm bu çalışmalar neticesinde, enzim inhibisyon sonuçlarında benzen halkası üzerinde 2. ve 4. / 3. ve 4. konumda klor süstitüentinin bulunması bütirilkolinesteraz aktiviteyi artırması ve daha önceki çalışmamızda süstitüe edilmemiş pirol halkasının varlığının asetilkolinesteraz aktiviteyi artırdığı sonucuna varılmıştır. Her iki yapının da tek çatı altında toplanarak oluşturulan yeni bileşiklerin kolinesteraz aktiviteyi artırması öngörülerek ileriki çalışmalara ışık tutması hedeflenmektedir.

IV. SONUÇLAR

Alzheimer hastalığı (AH) günümüzde en yaygın olarak görülen nörodejeneratif bir beyin hastalığıdır. AH' nın ilerlemesini durduracak veya semptomları tersine çevirerek hastalığın tamamen iyileşmesini sağlayacak etkinliğe bu güne kadar ne yazık ki ulaşılamamıştır. AH ile ilgili en bilinen gerçek; bu hastalık ile birlikte birçok nörotransmitter sistemin değişim göstermekte olduğudur. AH' nın başlaması ile birlikte nöron ve akson kaybı gerçekleşir ve bu durum da daha az düzeyde asetilkolin (ACh) salınımı meydana gelir. Dolayısıyla ACh düzeyini artırmak amacıyla uygulanacak en iyi yöntem ise; ACh'yi hidrolize eden AChE enziminin inhibisyonunu sağlamaktır. Yapılan araştırmalar, AChE inhibisyonuna bağlı olarak gerçekleşen ACh düzey artışlarının, Alzheimer hastalığının başlangıç evrelerindeki bilişsel yetmezliği iyileştirebileceğini göstermiştir. Fakat var olan AChEi'lerin gerçek manadatom bir koruma ve etkin bir tedavi sağlayamadığı, sadece hastalığa ait semptomların yavaşlayarak hastalığın ilerlemesini geciktirebildikleri kaydedilmiştir. Geliştirilen bu ilaçların tam etki mekanizmalarının bilinmeksizin sadece belirli yapılar üzerinde pozitif sonuç vermesinin baz alınması, etkin ilaç araştırmalarını ve bu ilaca yönelik tedavi yöntemlerini yetersiz kılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada 4-(4-süstitüe)-2-{2-[4-(4-metoksifenilpiperazin-1-yl)benziliden]hidrazinil} tiyazollerin (3a-3d) sentezi gerçekleştirilmiş ve son ürünlerin yapıları ¹H NMR ve ¹³C NMR analiz yöntemleri ile aydınlatılmıştır. Sentezlenen bileşiklerin kolinesteraz enzimi üzerindeki etkileri Ellman metodu ile değerlendirilmiş ve hedef bileşiklerin yüzde inhibisyon enzim çalışmaları sonucunda 3d bileşiğinin orta düzeyde bütirilkolinesteraz aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Sentezlenen bileşiklerde asetilkolinesteraz aktivite saptanmamıştır. Dolayısıyla yapılan bu çalışmada, tiyazol ve fenil halkası üzerinde meta ve para konumunda bulunan klor süstitüsyonunun bütirilkolinesteraz inhibitör etkiyi olumlu yönde etkilediği öngörülmüştür.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, Alzheimer hastalığının patofizyolojisi, tedavisi ve yeni ilaç geliştirilmesi üzerine yapılmakta olan araştırmalara ışık tutabilmesi açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] Prince, M., Guerchet, M. & Prina, M. (2013). Policy brief for heads of government: the global impact of dementia. *The Global Impact of Dementia*, 8, 2013-2050.
- [2] Shah, H., Albanase, E. & Duggan, C. (2016). Research priorities to reduce the global burden of dementia by 2025. *The Lancet Neurology*, 15, 1285-1294.
- [3] Li, Y., Zhang, X. X., Jiang, L.J., Yuan, L., Cao, T., Li, X., Dong, L., Li, Y., & Yin, S.F. (2015). Inhibition of acetylcholinesterase (AChE): A potential therapeutic target to treat Alzheimer's disease. *Chemical Biology & Drug Design*, 86, 776-782.
- [4] Kumar, G.P. & Khanum, F. (2012). Neuroprotective potential of phytochemicals. *Pharmacognosy Reviews*, 6, 81-90.
- [5] Kocaelli, H., Yaltirik, M., Yargic, L.I., & Ozbas, H. (2002). Alzheimer's disease and dental management. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 93, 521-4.

- [6] Hofman, A., Ott, A., Breteler, M. M., Bots, M. L., Slooter, A. J., Van Harskamp, F., Van Duijn, C.N., Van Broeckhoven, C., & Grobbee, D.E. (1997). Atherosclerosis, apolipoprotein E. and prevalence of dementia and Alzheimer's disease in the Rotterdam Study. *The Lancet*, 349, 151-4.
- [7] Parihar, M. S., & Hemnani, T. (2004). Experimental excitotoxicity provokes oxidative damage in mice brain and attenuation by extract of *Asparagus racemosus*. *Journal of Neural Transmission*, 111, 1-12.
- [8] Shidore M., Machhi, J., Shingala, K., Murumkar, P., Sharma, M. K., Agrawal, N., Tripathi, A., Parikh, Z., Pillai, P. & Yadav, M. R. (2016). Benzylpiperidine-linked Diarylthiazoles as Potential Anti-alzheimer's Agents: Synthesis and Biological Evaluation. *Journal of Medicinal Chemistry*, 59, 5823-5846.
- [9] Das, U. N. (2012). Acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase as markers of low-grade systemic inflammation, *Annals of hepatology*, 11, 409-411.
- [10] Tripathi, A. (2008). Acetylcholinesterase: A Versatile Enzyme of Nervous System. *Annals of Neuroscience*, 15, 106-111.
- [11] Barta, C., Sasvari-Szekely, M., Devai, A., Kovacs, E., Staub, M. & Enyedi, P. (2001). Analysis of mutations in the plasma cholinesterase gene of patients with a history of prolonged neuromuscular block during anesthesia. *Molecular Genetics and Metabolism*, 74, 484-488.
- [12] Silman, I. & Sussman J.L. (2005). Acetylcholinesterase: 'classical' and 'non-classical' functions and pharmacology, *Current Opinion in Pharmacology*, 5, 293-302.
- [13] Greig, N. H., Utsuki, T., Yu, Q., Zhu, X., Holloway, H. W., Perry, T., Lee, B., Ingram, D. K. & Lahiri, D. K. (2001). A new therapeutic target in Alzheimer's disease treatment: attention to butyrylcholinesterase, *Current Medical Research and Opinion*, 17, 159-165.
- [14] Bartus, R. T., Dean, R. L., Beer, B., & Lippa, A. S. (1982). The cholinergic hypothesis of geriatric memory dysfunction. *Science*, 217, 408-414.
- [15] Bartus, R. T. (2000). On neurodegenerative diseases, models, and treatment strategies: Lessons learned and lessons forgotten a generation following the cholinergic hypothesis. *Journal of Experimental Neurology*, 163, 495-529.
- [16] Hasselmo, M. E. (2006). The role of acetylcholine in learning and memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 16, 710-715.
- [17] Rees, T. M., & Brimijoin, S. (2003). The role of acetylcholine in the pathogenesis of Alzheimer's disease. *Drugs of Today*, 39, 75-83.
- [18] Quinn, D. M. (1987). Acetylcholinesterase: Enzyme structure, reaction dynamics, and virtual transition states. *Chemical Reviews*, 87, 955-979.
- [19] Wang, Q., Wang, C., Zuo, Y., Wang, Z., Yang, B., & Kuang, H. (2012). Compounds from the roots and rhizomes of *Valerianaamurensis* protect against neurotoxicity in PC12 cells. *Molecules*, 17, 15013-15021.
- [20] Massoulie, J., Pezzementi, L., Bon, S., Krejci, E., & Valette, F. M. (1993). Molecular and cellular biology of cholinesterases. *Progress in Neurobiology*, 41, 31-91.
- [21] Reid, G. A., Chilukuri, N., & Darvesh, S. (2013). Butyrylcholinesterase and the cholinergic system. *Journal of Neuroscience*, 234, 53-68.
- [22] Masson, P., & Lockridge, O. (2010). Butyrylcholinesterase for protection from organophosphorus poisons: Catalytic complexities and hysteretic behavior. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 494, 107-120.
- [23] Becker, R. E. (1991). Therapy of the Cognitive Deficit in Alzheimer's Disease: the Cholinergic System. *In Cholinergic Basis for Alzheimer Therapy*, 1-22. Birkhäuser, Boston, MA.
- [24] Robinson, D. M., & Keating, G.M. (2006). Memantine: : a review of its use in Alzheimer's disease. *Drugs*, 66(11), 1515-1534.
- [25] Heinrich, M. (2010). Galanthamine from galanthus and other amaryllidaceae—Chemistry and biology based on traditional use. *The Alkaloids: Chemistry and Biology*, 68, 157-165.
- [26] Thomsen, T., & Kewitz, H. (1990). Selective inhibition of human acetylcholinesterase by galanthamine in vitro and in vivo. *Life Science Journal*, 46, 1553-1558.
- [27] Grossberg, G. T. (2003). Cholinesterase inhibitors for the treatment of Alzheimer's disease: Getting on and staying on. *Current Therapeutic Research*, 64, 216-235.
- [28] Arendt, T., Brückner, M. K., Lange, M., & Bigl, V. (1992). Changes in acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase in Alzheimer's disease resemble embryonic development—A study of molecular forms. *Neurochemistry International*, 21, 381-396.
- [29] Soyer, Z., Uysal, S., Parlar, S., Tarikogullari Dogan, A. H., & Alptuzun, V. (2017). Synthesis and molecular docking studies of some 4- phthalimidobenzenesulfonamide derivatives as acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase inhibitors. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 32(1), 13-19.

- [30] Özkay, Ü. D., Can, Ö. D., Özkay, Y., & Öztürk, Y. (2012). Effect of benzothiazole/piperazine derivatives on intracerebroventricular streptozotocin-induced cognitive deficits. *Pharmacological Reports*, 64(4), 834-847.
- [31] Siddiqui, N., Arshad, M. F., Ahsan, W., & Alam, M. S. (2009). Thiazoles: a valuable insight into the recent advances and biological activities. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, 1, 136-143.
- [32] Matsunaga, Y., Tanaka, T., Yoshinaga, K., Ueki, S., Hori, Y., & Eta, R. (2011). Acotiamide hydrochloride (Z-338), a new selective acetylcholinesterase inhibitor enhances gastric motility without prolonging QT interval in dogs: comparison with cisapride, itopride, and mosapride. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 336, 791-800.
- [33] Alptüzün, V., Prinz, M., & Hörr, V. (2010). Interaction of (benzylidene-hydrazono)-1,4-dihydropyridines with β -amyloid, acetylcholine, and butyrylcholine esterases. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 18, 2049-59.
- [34] Ellman, G. L., Courtney, K. D., Andres, V., & Featherstone, R. M. (1961). A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochemical Pharmacology*, 7, 88-95.
- [35] Özkay, Y., Yurttaş, L., Abu Mohsen, U., Sever, B., Hussein, W., Ozturk, O., ... & Kaplancikli, Z. (2014). Study on thiazolyl-hydrazone derivatives as acetylcholinesterase inhibitors. *Clinical and Experimental Health Sciences*, 4, 1.

Araştırma Makalesi- Research Article

Sayma Verileri ile Kantil Regresyon: Aşırı Yayılım Veri Örneği

Quantile Regression with Count Data: Example of Overdispersion Data

Burcu Durmuş^{1*}, Öznur İşçi Güneri², Aynur İncekırık³

Geliş / Received: 03/11/2021

Revize / Revised: 25/02/2022

Kabul / Accepted: 21/03/2022

ÖZ

Sayma modellerinde klasik regresyon varsayımları sağlanamamaktadır. Bu nedenle sayma verileri için Poisson ve negatif binom dağılım en bilinen yöntemlerdir. Poisson model eşit yayılım durumunda, negatif binom dağılım aşırı yayılım durumunda kullanılabilir. Uygulamada veriler genellikle aşırı yayılım göstermektedir. Eğer sayma verilerinde fazla sıfır değerli varsa eşit yayılım durumunda zero-inflated Poisson, aşırı yayılım durumunda zero-inflated negatif binom modelleri, Poisson Hurdle ve negatif binom Hurdle modelleri veya bunların genelleştirilmiş modelleri tercih edilebilir. Bu modeller genel olarak bağımlı değişkenin koşullu ortalamasını modellemeye odaklanır. Ancak koşullu ortalama regresyon modelleri, bağımlı değişkenin aykırı değerlerine duyarlı olabilir ya da diğer koşullu dağılım özellikleri hakkında hiçbir bilgi sağlamayabilir. Bu durumda sayma verileri için sağlam yöntemlerden olan kantil regresyon kullanılabilir. Kantil regresyon aykırı değerlerin varlığında sağlam tahmin avantajlarına sahiptir. Bu makalede bağımlı değişken sayma verilerinden oluşan makale sayısıdır. Bağımsız değişkenler cinsiyet, evli olup olmadığı, 5 yaşının altında çocuk sayısı, doktora prestiji ve danışmanın son 3 yıldaki makale sayısı değişkenlerinden oluşmaktadır. Çalışmada Poisson ve negatif binom dağılım uygulandıktan sonra %25, %50, %75 ve %90 kantil regresyon tahminleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Sayma Verisi, Kantil Regresyon, Poisson Regresyon, Negatif Binom Regresyon*

ABSTRACT

Classical regression assumptions are not valid in count models. Therefore, Poisson and negative binom distribution are the most common methods for count data. The Poisson model can be used in case of equal spread, while negative binom distributions in case of overdispersion. In practice, data is often over dispersed. If there are too many zero values in the count data, zero-inflated Poisson models in case of equal spread, zero-inflated negative binom models, Poisson Hurdle and negative binom Hurdle models or their generalized models can be preferred in case of overdispersion. These models generally focus on modeling the conditional average of the dependent variable. However, conditional average regression models may be sensitive to outliers of the dependent variable or provide no information about other conditional distribution properties. In this case, quantile regression, which is one of the robust methods for count data, can be used. The quantile regression has the advantages of robust prediction in the presence of outliers. In this study, count data was taken to show the dependent variable number of articles. Independent variables include of gender, marital status, number of children under the age of 5, prestige

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: burcudurmus@mu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-0298-0802>)

İstatistik Bölümü, Fen Fakültesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye

²İletişim: oznur.isci@example.com (<https://orcid.org/0000-0003-3677-7121>)

İstatistik Bölümü, Fen Fakültesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye

³İletişim: aynur.incekirik@bayer.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-5029-6036>)

Ekonometri Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye

of the doctorate, and the number of articles by the consultant in the last 3 years. After applying Poisson and negative binom distribution in the study, 25%, 50%, 75% and 90% quantile regression estimates were obtained.

Keywords- Count Data, Quantile Regression, Poisson Regression, Negative Binom Regression

I. GİRİŞ

Bağımlı değişkenin kesikli değer (0, 1, 2, ..., k) aldığı fakat kategorik olmadığı durumlara sayma verileri denilmektedir. Sayma verilerine klasik En küçük kareler yöntemi (EKKY) uygulandığında hataların dağılımı normal dağılım göstermediğinden iyi sonuçlar verememektedirler. Bağımlı değişken sayma verilerinden oluştuğunda Poisson regresyon modeli, doğrusal regresyon analizine alternatif olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle Poisson analizi, pek çok alanda kullanılmaktadır. Poisson modelinin en temel özelliği, koşullu ortalamanın koşullu varyansa eşit olmasıdır. Ancak uygulamalarda koşullu varyans, koşullu ortalamayı aşabilir ya da koşullu ortalamanın altında kalabilir. Aşırı (eksik) yayılım olarak adlandırılan bu durum da farklı modeller kullanılması önerilmektedir. Bu modeller arasında en bilinen yöntem negatif binom regresyon (NBR) modelidir. Aşırı (eksik) yayılım olduğu durumlarda Poisson regresyon analizi, standart hatalarının ve parametre tahminlerinin sapmalı olmasına neden olmaktadır [1]. Aşırı yayılım durumunda negatif binom dağılımının dışında, genelleştirilmiş Poisson regresyon modeli, genelleştirilmiş negatif binom regresyon modeli, quasi model gibi farklı modellerde kullanılmaktadır.

Sayma verileri doğası gereği sıfır değerlerini alır. Veri setinde sıfır sayıları çok olduğunda Poisson ve negatif binom dağılımları yeterince iyi tahmin yapamazlar. Bu durum sıfır değer yayılımı (zero-inflation) olarak tanımlanmaktadır [2,3]. Böyle bir durumda aşırı dağılım veya yetersiz dağılım (over-dispersion or under-dispersion) hesaba katılmalıdır. İlk olarak Lambert (1992) tarafından zero-inflation Poisson (ZIP) modelini önerilmiştir [4]. Daha sonra, Green 1994'te Poisson ve negatif binom regresyon modellerinde aşırı sıfırların ve örneklem seçiminin hesaba katılması ile ilgili bir çalışma yapmıştır [5]. Fazla sıfırlar ve aşırı yayılım durumunda zero-inflation negatif binom (ZINB) modeli tercih edilebilir. Bu modellerin genelleştirilmiş olanları için de uygulamalar vardır. Sayma verilerindeki fazla sıfırları modellemede kullanılan bir başka popüler yaklaşım eşit yayılım için Poisson Hurdle ve aşırı yayılım için Negatif binom Hurdle modelleridir.

Sayma verileri için geliştirilmiş birçok model vardır. Bu modellerin özellikle sağlık bilimleri ve sosyal bilimler olmak üzere birçok alanda uygulamaları mevcuttur. Kantil regresyon uygulamaları özellikle son yıllarda karşımıza çıkmaktadır. Sayma verileri için Poisson ve benzeri dağılımlar normal dağılım göstermezler sağa eğik bir dağılım gösterirler. Ayrıca aykırı gözlemler olduğunda EKK tahmin edicileri etkinlik özelliklerini kaybederler. Klasik regresyon modelleri, bağımlı değişkenin aykırı değerlerine duyarlı olabilir ve bağımlı değişkenin diğer dağılım noktalarını (örneğin, üst ve alt %5'lik kantiller) etkileyen faktörler hakkında hiçbir bilgi sağlamayabilir. Bu durumda sağlam (robust) regresyon yöntemleri önerilmektedir. En küçük mutlak sapmalar (LAD), en küçük medyan kareler (LMedS) ve kantil regresyon (QR) yöntemi bunlar arasında yer alır. LAD, kantil regresyonun özel bir durumudur. Kantil regresyonda kantil değeri 0.50 olduğunda tahmin ediciler LAD analizi ile elde edilir [6].

Tipik QR uygulamaları, sürekli popülasyonlardan rastgele örnekleme varsaymasına rağmen, farklı veri setlerine ait çalışmalar da vardır. Bunların temel çıkışı noktası Manski' nin (1975, 1985) ikili ve çok terimli modeller için medyan regresyon üzerine çalışması olmuştur [7, 8]. Daha sonra Horowitz (1992, 1998) tarafından genişletilmiştir [9-10]. Powell (1984, 1986) sansürlenmiş veriler için QR' yi incelemiştir [11, 12] ve Lee (1992) sıralı kesikli bağımlı değişken için medyan tahminini analiz etmiştir [13]. Daha yakın zamanlarda Koenker ve Biliş (2001), Koenker ve Geling (2001), Machado ve Portugal (2002), tarafından QR uygulamaları yapılmıştır [14-16]. Machado ve Silva (2005), sayma verileri için koşullu kantillerin tahminini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada verilerdeki ayrıklığı göz önüne alarak, standart kantil regresyon teknikleri kullanılarak çıkarım yapılmasına izin verecek şekilde verileri düzeltmenin mümkün olabileceğini göstermişlerdir [17]. Wu ve ark. (2014), kaza sıklığını analiz etmede sayma modellerine alternatif olarak kantil regresyon kullanımını keşfetmeyi amaçlamışlardır [18]. Congdon (2017) aykırı değerlerin varlığında ve sağlık uygulamalarında, kantil tahminlerinin risk faktörlerini yansıtabileceği etkin aykırı değer tespiti ve sağlam tahmin avantajlarına sahip olduğunu ifade etmektedir [19]. Chernozhukov ve ark. (2020), kesikli yanıt değişkenleri için eşzamanlı güven bantları sunan kantil fonksiyonlarını araştırmışlardır [20]. Frumento ve Salvati (2021) sayma verilerine kantil regresyon

uygulayarak, kesikli yanıt değişkenini yapay olarak düzleştiren bir yöntem sunmuşlardır [21]. Lamarche ve ark. (2021), boylamsal veri ortamında sıfır şişirme ile sayma yanıtları için koşullu kantil fonksiyonlarının tanımlanmasını ve tahmin edilmesini incelemiştir [22].

QR yöntemi, dağılımdaki fonksiyonel ilişkileri farklı noktalarda ortaya koyar. Başka bir anlatımla kantil regresyon yöntemi, bağımlı değişkeni yüzdelik dilimlere (%25, %50, %75 gibi) ayırır ve her bir dilim için ayrı ayrı tahmin edici sunar. Ayrıca bu yöntem aykırı değerlere karşı esneklerdir. Bu nedenle, yanlış fonksiyonel ilişkilerin oluşturduğu hatayı önler [23].

EKKY varsayımlarından biri de eşit varyans varsayımdır. Modelde değişen varyans olması halinde tahminciler, yüksek varyans değerine sahip olurlar. Bunun bir sonucu olarak da hatalar artar. Hata teriminin dağılımı x' e bağlı değilse, tüm kantiller paralel olacaktır. Başka bir ifadeyle; hata terimleri sabit varyanslı dağılıyorsa, kantiller her zaman medyana eşit yani regresyon doğrusuna paralel olacaktır [24]. Kantil regresyonda sabit varyans olması durumunda, açıklayıcı değişkenlerle elde edilecek katsayılar tüm kantil regresyonlarda aynı, sabit terimler farklı olacaktır. Bu durumda EKK ile bulunan regresyon modeli ve medyan regresyon modeli aynı olacaktır [25]. QR, sayma verisi analizi için daha yapılandırılmış ve iyi kanıtlanmış modellerin yerini alamaz. Bununla birlikte, daha karmaşık modellerin oluşturulmasına yardımcı olan ve regresyonların yalnızca koşullu dağılımın konumunu değil, aynı zamanda tüm şeklini nasıl etkilediğine dair iç görü sağlayan değerli bir ek araç olabilir [17].

Bu çalışmanın amacı, sayma verilerinde EKKY tahmin yönteminin dayandığı model varsayımlarının sağlanamaması durumunda kullanılabilir Poisson model, negatif binom model ve kantil regresyon yöntemini tanıtmak ve bir uygulama üzerinde tahmin edicileri karşılaştırmaktır. Bu nedenle çalışmanın ikinci bölümünde Poisson regresyon, negatif binom regresyon ve kantil regresyon yöntemleri tanıtılmıştır. Üçüncü bölümünde sayma modellerinde sık kullanılan model seçim kriterlerinden bahsedilmiş, dördüncü bölümde bir uygulama verilmiştir. Son bölümde elde edilen sonuçlar, farklı sağlam regresyon yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır.

II. POISSON REGRESYON (PR)

Sayma verileri için genel olarak ilk yapılan analiz Poisson regresyon yöntemidir. Poisson regresyon analizinde, bağımlı değişken y_i 'nin Poisson dağılımı gösterdiğini varsaymaktadır. Poisson rasgele değişkeni bir sayı olduğundan, minimum değeri sıfırdır ve teorik olarak maksimum değeri sınırsızdır. Bir veya daha fazla ortak değişkenin bir fonksiyonu olarak, zaman birimi başına ortalama oluşum sayısı olan λ parametresi modellenmek istenir. Poisson regresyonu için belli başlı varsayımlar şunlardır:

• Bağımlı değişken y_i sayma verisidir. Sayılar pozitif tam sayılar 0 veya daha büyük olmalıdır. Eğer sayma verisi değilse, Poisson regresyonu iyi bir yöntem değildir. Poisson dağılımı kesikli bir dağılım olduğundan, bu yöntem kesirlerle veya negatif sayılarla çalışmayacaktır.

- Sayımlar bir Poisson dağılımını takip etmelidir. Bu nedenle, ortalama ve varyans aynı olmalıdır.
- Bağımsız değişkenler sürekli, ikili veya sıralı olmalıdır.
- Gözlemler bağımsız olmalıdır.

λ parametresi ile Poisson dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu [26],

$$f(y_i|x_i) = \frac{\lambda_i^{y_i} e^{-\lambda_i}}{y_i!}, \quad y_i = 0,1,2,\dots \quad (1)$$

şekindedir. Bu ifade de y_i , olayların meydana gelme sayısı, λ ise olayların zaman birimi başına tekrarlanmasının oranını ifade etmektedir. Yani λ , dağılımın ortalamasını vermektedir. Buradaki olasılık, λ değerinin bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Poisson olasılık dağılımı sağa eğiktir. Fakat λ_i büyüdükçe dağılım normal dağılıma yaklaşır.

Poisson dağılımı çoğunlukla nadir olayların (belli bir zaman aralığında bir kavşaktan geçen arabaların sayısı, belli bir zaman aralığında bir hastalığa yakalananların sayısı, belli bir yılda meydana gelen doğal afetler

gibi oluş sayısını modellemek için kullanılmaktadır. Poisson regresyon modelinin en belirgin özelliği $\lambda_i = Var(Y|X) = E(Y|X)$ ortalama ile varyansın birbirine eşit olmasıdır. Aşırı ya da eksik dağılmış bir veri seti Poisson dağılımı ile modellenemez. Bunun nedeni koşullu beklenen değer varyansa eşit olduğu varsayımının bozulmasıdır. Poisson regresyon analizinde genellikle log-doğrusal modelden yararlanılmaktadır. Poisson dağılımının ortalaması olan λ , bağımsız değişkenlerin x_i doğrusal bir fonksiyonu olduğu varsayılır. Poisson regresyon modeli;

$$\log(\lambda_i) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \dots, \beta_m x_m = x_i' \beta \quad (2)$$

olarak verilebilir. Burada x , bağımsız değişken vektörünü ve β da tahmin edilecek parametre vektörünü ifade eder. Bu eşitlikte λ_i bağımsız değişkenlerin üstel bir fonksiyonu olmaktadır. λ_i değeri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\lambda_i = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \dots, \beta_m x_m) = \exp(x_i' \beta) \quad (3)$$

Poisson regresyonu, maksimum olasılık tahminiyle tahmin edilir. Poisson modelinin log-likelihood fonksiyonu;

$$LL = \sum_{i=1}^n [-\lambda_i - y_i \ln(\lambda_i) - \ln(y_i!)] \quad (4)$$

olarak yazılabilir. Eşitlik (4) daha sonra maksimum değere yakınsamaya kadar k kez yinelenir [27]. Poisson regresyon modeli genellikle büyük örneklem gerektirir.

Verinin aşırı ya da eksik yayımlı olup olmadığını anlamak için Poisson modelinin varyansı ortalamaya göre hesaplanır. Hesaplanan bu değer 1'den fazla ise aşırı yayılım, 1'den küçük ise eksik yayılım olarak ifade edilir. Aşırı yayılım durumunu belirleyebilmek için Wald testi, olabilirlik oranı testi (LRT), skor testi gibi test istatistiklerinden yararlanılmaktadır. Poisson regresyon modelinde aşırı yayılım göz ardı edilirse, regresyon parametrelerine ait tahminler tutarlı olmasına karşın varyanslar olması gerekenden düşük tahmin edilir [28].

A. Poisson Regresyonda Aşırı Yayımlı Doğrulama Testi

Poisson dağılımının en önemli varsayımlarından biri varyans değeri ve ortalama değerinin eşit olması (eş dağılım) olmasıdır. Ancak varsayım karşılanmazsa, aşırı dağılım oluşur ($Var(Y|X) > E(Y|X)$). Uygulamalarda genellikle sayma değişkenler ortalamadan daha büyük varyansa sahiptirler ve aşırı yayılım gösterirler. Poisson regresyonundaki aşırı dağılımı test etmek için farklı yöntemler kullanılır. Cameron ve Trivedi Poisson regresyon modelinde aşırı yayılımın mevcudiyetini doğrulamak amacıyla $Var(Y|X) = E(Y|X) + \phi [E(Y|X)]^2$ eşitliğini test etmişlerdir [29]. Burada, $H_0: \phi = 0$ ve $H_1: \phi > 0$ olmak üzere ϕ parametresinin önemi doğrulanmalıdır. Sayım verilerindeki aşırı dağılımın tespiti için, belirli bir önem düzeyinde, bir Poisson regresyon modelinin önceden tahmin edilmesi gerektiği varsayılır. y_i^* değişkeni aşağıdaki gibidir;

$$y_i^* = \frac{[(y_i - \lambda_i)^2 - y_i]}{y_i} \quad (5)$$

Bu eşitlikte λ_i , Poisson regresyon modeli tahmin edildikten sonra her bir gözlem için beklenen olayların geliş sayısını ve $(y_i - \lambda_i)^2$ her bir gözlem için gerçek sayı ile tahmin edilen sayı arasındaki farkı gösterir. Denklem 5'deki yardımcı model, Denklem 6'yı izleyerek λ 'yı tek tahmin değişkeni olarak ayarlar,

$$y_i^* = \beta \lambda_i \quad (6)$$

Eğer elde edilen sonuç $Z_{\alpha/2}$ değerinden daha düşük bir değerle sonuçlanırsa aşırı dağılım meydana gelir [27]. Aşırı yayılımın sonuçlarından biri, parametre tahminlerinin standart sapması aşağı yönlü ve tahmin edici değişkenlerin önemi yukarı yönlüdür, bu nedenle geçersiz sonuçlara yol açar [30]. Gözlemlenen sıfır değerlerinin

sayısının Poisson modeli ile ortaya konulan sıfır değerlerinin sayısını aşması ve gözlemlenememiş heterojenlik gibi durumlar verinin aşırı yayılım göstermesine neden olmaktadır [31]. Bu nedenle aşırı yayılım durumunda farklı yöntemler tercih edilmelidir. Aşırı yayılım da en çok kullanılan yöntem NB regresyon modelidir.

III. NEGATİF-BİNOM REGRESYON (NBR)

Negatif binom regresyon (NBR), Poisson regresyonunun özel bir durumu olarak kabul edilmektedir. Sıfır değerlerinin aşırı ya da eksik yayılım gösterdiği durumlarda alternatif bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. NBR modeli, kısıtlayıcı varsayımları gevşeten Poisson regresyonunun bir genellemesidir. Bu model Poisson-Gama karışımı bir dağılıma dayanır. Poisson dağılımı, ortalaması 1 ve ölçek parametresi ν olan bir gama gürültü değişkeni dahil edilerek genelleştirilebilir. α yayılım parametresi olmak üzere Poisson-Gama karışımı negatif binom dağılımı aşağıdaki gibi elde edilir [32]:

$$P(\lambda_i, \alpha) = \frac{\Gamma(y_i + \alpha^{-1})}{\Gamma(y_i + 1)\Gamma(\alpha^{-1})} \left(\frac{\alpha^{-1}}{\alpha^{-1} + \lambda_i} \right)^{\alpha^{-1}} \left(\frac{\lambda_i}{\alpha^{-1} + \lambda_i} \right)^{y_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\lambda_i = t_i \lambda, \quad \alpha = \frac{1}{\nu}$$

NBR modelinin beklenen değeri $E(y_i) = \lambda$ ve varyansı aşağıdaki biçimindedir.

$$Var(x_i) = \lambda_i + \alpha \lambda_i^2 \quad (8)$$

NBR modeli t_i maruz kalma süresi ve $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ bilinmeyen parametreler olmak üzere,

$$\lambda_i = \exp(\ln \ln(t_i) \beta_{1i} x_{1i} + \beta_{2i} x_{2i}, \dots, \beta_{ki} x_{ki}) \quad (9)$$

şeklinde gösterilir. Regresyon katsayıları tahmin etmek için, maksimum likelihood (MLE) yöntemi [33] ve Monte Carlo Markov Zinciri en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Negatif binom modelinin log-likelihood fonksiyonu,

$$LL = \sum_{i=1}^n (y_i \ln \alpha + y_i (\alpha_i \beta_i) - (y_i + \frac{1}{\alpha}) \ln \ln(1 + \alpha e^{\alpha_i \beta_i}) + (y_i + \frac{1}{\alpha}) - \ln \ln \Gamma(y_i + 1) - \ln \Gamma(\frac{1}{\alpha})) \quad (10)$$

olarak verilebilir [34]. NBR modelinde aşırı yayılımdan kaynaklanan etkiyi ortaya koymak için modele yeni bir parametre eklenir [35]. Bu nedenle Poisson dağılımdan farklı olarak bir parametresi daha vardır. Bu ikinci parametre, varyansı ortalamadan bağımsızlaştırmak için kullanılabilir.

IV. KANTİL REGRESYON

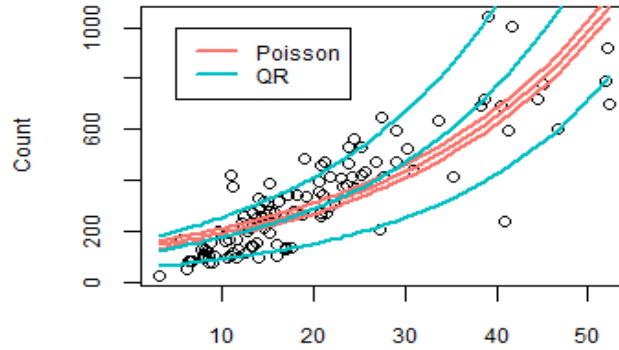
EKKY değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlerken en yaygın kullanılan modeldir. Fakat EKKY gözlemlenen verilerin normallik bozulumu, değişen varyans durumu, aykırı değere sahip olma gibi varsayımların sağlanmadığı durumlarda güvenilir tahminler vermez [36,37]. Bu varsayımlar sağlanırsa tahminler en iyi tahminler olabilmektedir aksi halde tahminler etkin değildir. Ayrıca bağımlı değişken sürekli olduğu zaman EKKY kullanılabilir. Kantil regresyon yönteminde EKKY bulunan hataların dağılımının normal olması ve varyansın homojen olması varsayımı gerekli değildir. Bu nedenle bu yöntem EKKY göre daha esnek bir yöntemdir.

Kantil Regresyon yöntemi ilk olarak Koenker ve Bassett (1978) tarafından iklim çalışmaları için önerilmiş bir regresyon modelidir [6]. Yöntemin ilk uygulamalarında bağımlı değişkeni sürekli olan veriler için analiz yapılmıştır. Kesikli verilerin koşullu fonksiyonlarını modellemek literatürde daha az yaygındır. Bununla birlikte, sürekli durumda olduğu gibi kesikli durumda da anlamlı bilgiler sağlayabileceği son yapılan çalışmalarla gösterilmektedir. Gerçekten de sürekli dağılımların koşullu kantillerine yönelik yöntemler, kesikli bağımlı değişkenli yöntemlere uyarlanabilir ve uyarlanmıştır. Kesikli bağımlı değişkenli yani kategorik ve sayma modeller

için genel olarak MLE yaklaşımı kullanılır. Bu yöntemin hesaplama avantajları ve asimptotik özellikleri nedeniyle sayma verilerinde Poisson ve binom regresyon birçok uygulamalı bilimde iyi bilinmektedir. Kantil regresyon ise Bootstrap yöntemi ve doğrusal programlama yönteminde genel olarak tahmin için kullanılmaktadır.

Aykırı değer, veri setindeki gözlemlerin büyük bir kısmının sahip olduğu dağılıma (veya modele) uymayan gözlemdir [38]. Veri kümesindeki bazı gözlemler, diğer verilere göre aşırı büyük ya da küçük olduğunda bu gözlemler veri setindeki çoğunluk verilerle benzer dağılmaz. Bu tür gözlemler, örnekleme ilişkin bilgiyi özetleyen tahmin edicileri etkileyebilir. Tahmin edici, veri setinde bulunan aykırı gözlemin varlığından etkilenmiyorsa o tahmin ediciye dayanıklı, etkileniyorsa dayanıklı olmayan tahmin edici denir [39]. Aykırı değere sahip veri setinde varsayım bozulmalarından dolayı EKKY regresyon modelinden elde edilen sonuçlar yanıltıcı olabilir. Aykırı değerlerin veri setinden çıkartılması, regresyon denklemini tamamen veya kısmen etkileyebilir. Bu nedenle aykırı değer varlığında tahminlerin güvenilirliği için sağlam regresyon yöntemlerini tercih etmek daha uygun olmaktadır [40]. Bu durumda kullanılacak alternatif regresyon modellerinden biri kantil regresyon yöntemidir.

Kantil regresyon tek değişkenlide bilinen kantil kavramının bir veya daha fazla değişken için genelleştirilmesidir. Kantil regresyon yöntemi farklı kantillere göre (örneğin 0.05, 0.10, ..., 0.95) bağımlı değişkenin koşullu dağılımının farklı bölgelerdeki ortak değişkenlerin etkilerini tahmin eder. Uygulamada kantiller genellikle 0.25, 0.50 ve 0.75 olarak seçilir. Çoklu doğrusal regresyon doğrusu aşırı değerleri tespit etmede başarısız olurken, kantil regresyon doğruları farklı kantillere sahip olduğundan aşırı değerleri daha kolay tespit edebilir [41]. Şekil 1'de sayma verilerinde en bilinen yöntem olan Poisson regresyonu ve farklı kantil değerlerine göre (0.10; 0.50; 0.90) regresyon grafiği görülmektedir [42].



Şekil 1. Farklı Kantil Değerlerine Göre Poisson ve QR Grafiği

Sayma modellerinde en çok kullanılan Poisson regresyon Şekil 1'de görüldüğü gibi orta kısımda yer almaktadır. Farklı kantiller ile analiz yapıldığında diğer uç gözlemlerde analize dahil olmaktadır. Ayrıca EKKY ile tahmin edilen regresyon doğrusu dağılımın orta bölgesinden geçmekte ve değerleri dikkate almamaktadır. Ancak kantil regresyonda örneğin 0.25'lik ve 0.75'lik dilimde yer alan tahmin değerleri farklıdır. Böylece her bir bağımsız değişkenin ilgili değişkeni nasıl etkilediği konusunda daha eksiksiz bilgi edinebilir. Klasik EKK yöntemi, koşullu ortalamaya bağlı iken kantil regresyon yöntemi ise koşullu kantil fonksiyonuna bağlıdır [43]. Bu nedenle kantil regresyon, özellikle koşullu kantillerin değişkenlik gösterdiği durumlarda oldukça kullanışlıdır. Doğrusal kantil regresyon modeli şu şekilde yazılır;

$$Q_{y_t}(\tau) = \sum_{i=1}^k \beta_{\tau,i} x_{ti} \quad (11)$$

$\beta_{\tau,i}$ bilinmeyen parametreler ve τ kantil değerini gösterir. $0 < \tau < 1$ olmak üzere $Q_{y_t}(\tau)$ ise y_t 'nin τ 'nin koşullu kantilini gösterir. Örneğin, $\tau=0.50$ alınırsa $Q_{y_t}(0.50)$ dağılımın medyanını ifade eder. $\tau=0.90$ değeri bağımlı değişkenin en yüksek %90'lık kantil içerisinde yer aldığını, $\tau=0.10$ değeri ise bağımlı değişkenin en düşük %10'luk kantil içerisinde yer aldığını gösterir. Regresyon katsayıları, asimetric bir mutlak kayıp fonksiyonu kullanılarak tahmin edilir. Ayrıca medyan regresyon (LAD), $\tau=0.5$ kantil değeri için genişletilmiş kantil regresyon durumudur.

Katsayı tahminleri doğrusal regresyona benzer olarak görülmektedir. Fakat kantil regresyonda bağımlı değişkenin koşullu dağılımının farklı noktaları için tahmin yapılmaktadır. Bu modellerde değerine göre kantil regresyon olmak üzere kantil regresyon tahmincileri doğrusal programlama şeklinde ifade edilip simpleks algoritması ile çözülebilir. F dağılım fonksiyonuna sahip bağımlı değişken Y için τ . regresyon kantili;

$$\min_{\beta \in R^k} \frac{1}{n} \left[\sum_{i \in \{i: y_i \geq x_i \beta\}} \tau |y_i - x_i \beta| + \sum_{t \in \{t: y_t < x_t \beta\}} (1 - \tau) |y_t - x_t \beta| \right] \quad (12)$$

ifadesinin minimize edilmesi ile elde edilir [6].

Kantil regresyonunun bu şekilde gösterimi doğrusal programlama gösterimidir. Kantil regresyondaki parametre tahminleri, açıklayıcı değişkendir bir birim değişimin bağımlı değişken y'nin belli bir kantilindeki değişimini gösterir [44].

V. MODEL SEÇİMİ

Sayma modelleri için model seçiminde genellikle Log Likelihood, Pearson istatistiği, sapma istatistiği (Deviance), Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Bayes Bilgi Kriteri (BIC) yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde en çok kullanılan kriterler AIC ve BIC olduğu içi naşağıda bu değerlerinin nasıl hesaplandığına ilişkin formüller verilmiştir.

A. Akaike Bilgi Kriteri (AIC)

Farklı modellerin karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılan bu ölçüt,

$$AIC = -2 \log(L) + 2k \quad (13)$$

şeklinde ifade edilir [45]. Bu eşitlikte L , log olabilirlik fonksiyonunun maksimum değerini ve k , açıklayıcı değişken sayısını gösterir. Elde edilen modeller arasında AIC değerinin en küçük olduğu model en uygun modeldir. Parametre sayısı örnek büyüklüğüne göre büyük ise AIC yerine Hurvich ve Tsai tarafından önerilmiş olan AICc'nin kullanılması gerekir. Bu değer ise,

$$AICc = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} = \frac{2kn}{n-k-1} - 2l(L) \quad (14)$$

olarak yazılabilir [46-48].

B. Bayes Bilgi Kriteri (BIC)

Akaike, doğrusal regresyonda seçilmiş model problemleri için BIC (Bayesian Information Criterion) model seçim kriterini ortaya koymuştur [47]. Bayes bilgi ölçütü aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$BIC = -2 \log(L) + k \log(n) \quad (15)$$

Akaike bilgi ölçütüne benzer şekilde, modeller arasında en küçük BIC değerine sahip model uygun model olarak seçilir.

VI. UYGULAMA

Uygulama için doktora'daki biyokimyacılar tarafından üretilen yayınların sayısı ile ilgili Long (1990) verileri kullanılmıştır. Bu veriler ayrıca Long ve Freese (2001) tarafından bazı sayma modelleri için analiz edilmiş [49] ve Stata web sitesinde mevcuttur [50]. Bu çalışmada bağımlı değişken doktoranın son 3 yılındaki makale sayısı ve bağımsız değişkenler cinsiyet, evli olup olmadığı, 5 yaşının altında çocuk sayısı, doktora prestiji ve danışman son 3 yıldaki makale sayısı dikkate alınmıştır. Analizler için SPSS 22 ve STATA 13 paket programı kullanılmıştır. Veri kümesindeki değişkenler ve tanımlayıcı istatistikler Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

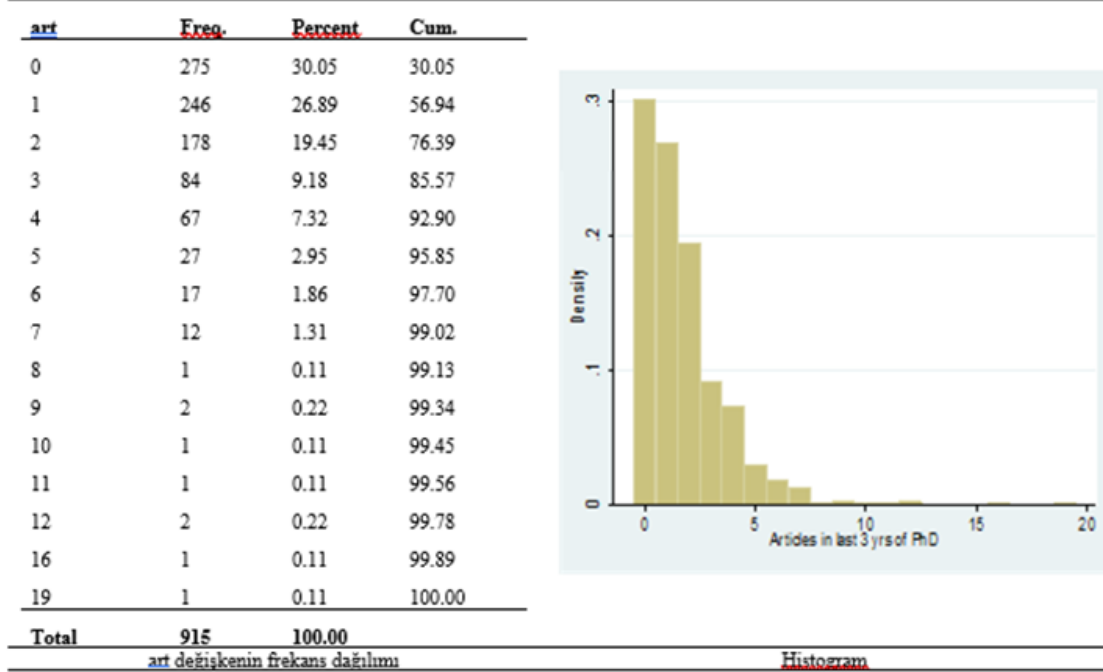
Tablo 1. Bağımlı ve Bağımsız Değişkenler

Değişken Adı	Açıklama	Kategori
art	doktoranın son üç yılındaki makale sayısı	0,1,...,19
fem	cinsiyet	0:erkek 1:kadın
mar	evli olup olmadığı	0:hayır 1:evet
kid5	altı yaşın altındaki çocuk sayısı	0, 1, 3
phd	doktora programının prestiji	-
ment	son üç yılda danışman tarafından yazılan makaleler	0, 1, 2,...77

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişkenler	n	Ort.	Std. Sap.	Min.	Maks.
art	915	1.693	1.926	0	19
fem	915	.46	.499	0	1
mar	915	.662	.473	0	1
kid5	915	.495	.765	0	3
phd	915	3.103	.984	.755	4.62
ment	915	8.767	9.484	0	77

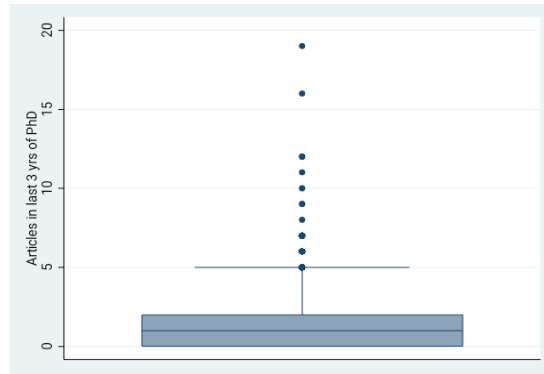
Ortalama makale sayısı 1.69'dur ve standart sapma 1.926 (varyans 3.71)'dir. Buna göre varyans ortalamasının iki katından biraz fazladır. Şekil 2'de art değişkeni için histogram verilmiştir.



Şekil 2. Makale Sayılarına İlişkin Histogram

Şekil 2 incelendiğinde veriler kuvvetli bir şekilde sağa çarpıktır. Bu nedenle EKKY bu verilere uygun olmayacaktır. Sayma verileri genellikle bir Poisson dağılımını takip eder, bu nedenle bir tür Poisson analizi uygun olabilir. Değişkenler arasındaki ilişkilerin incelenmesinde yaygın olarak kullanılan EKKY verilerin normal dağılım göstermesine ve aykırı değerlerin bulunmamasına bağlı olarak etkin sonuçlar vermektedir. Ancak birçok veri seti normal dağılım göstermemekte ve içinde aykırı değerlerde bulundurmaktadır. Aykırı değerler diğer gözlem değerlerinden uzakta bulunan ve onlarla tutarlılık göstermeyen değerlerdir. Veri setinde aykırı değer olması durumunda bu sapmalardan etkilenmeyen ve daha esnek olan sağlam yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Aykırı değerler görsel olarak histogram ve kutu grafiği (Box Plot) yardımıyla belirlenebilir. Bunun dışında farklı test yöntemleri de mevcuttur.

Bu çalışmada veri setinde aykırı gözlemlerin olup olmadığını göstermek amacıyla kutu grafiği kullanılmıştır. Şekil 3'de Box Plot grafiğinde görüldüğü üzere aykırı gözlem değerleri mevcuttur. Aykırı gözlemler olduğunda sağlam regresyon yöntemlerinin kullanılması uygundur. Bu çalışma da kantil regresyon yöntemi kullanılarak analiz yapılmıştır.



Şekil 3. Makale Sayılarına İlişkin Box Plot Kutu Grafiği

A. Poisson Regresyon (PR)

Poisson regresyonu, sayma verilerinin modellenmesinde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra Poisson modelinin kullanılabilmesi için verilerin Poisson dağılımına uyması ve eşit yayılım göstermesi gerekmektedir. Yani bağımlı değişkenin ortalaması ve varyansı eşit olmalıdır. Poisson regresyon analizi için elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Poisson Regresyon Analizi

art	Katsayılar	Std. Hata	z	P>z	% 95 Güven	Aralığı
fem	-.2245942	.0546138	-4.11	0.000	-.3316352	-.1175532
mar	.1552434	.0613747	2.53	0.011	.0349512	.2755356
kid5	-.1848827	.0401272	-4.61	0.000	-.2635305	-.1062349
phd	.0128226	.0263972	0.49	0.627	-.038915	.0645601
ment	.0255427	.0020061	12.73	0.000	.0216109	.0294746
sabit	.3046168	.1029822	2.96	0.003	.1027755	.5064581

Regresyon katsayıları hakkındaki hipotezleri test etmek için, tam dağılım varsayımları yapıldığı için mümkün olan Wald testleri veya olabilirlik oranı testleri kullanılabilir. Poisson modeli bütün olarak test edildiğinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu görebiliriz (Prob > chi2=0.000). Bu model incelendiğinde phd değişkeni dışındaki tüm değişkenler istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0.05). Aşırı yayılım testi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Aşırı Yayılım Testi

Kaynak	KT	sd	KO	Gözlem sayısı	=	915
				F(1, 914)	=	42.64
Model	785.612431	1	785.612431	Prob > F	=	0.0000
Hata	16840.9983	914	18.4255998	R-squared	=	0.0446
				Adj R-squared	=	0.0435
Toplam	17626.6107	915	19.2640554	Root MSE	=	4.2925

Yasterisk (y*)	Katsayı	Std. Hata	t	P>t	%95 Güven	Aralığı
lambda	.5091216	.0779701	6.53	0.000	.3561003	.6621428

Tablo 4'te lambda değişkeninin β katsayısı 0.05 den küçük bu nedenle aşırı yayılım vardır. Modelin uyum iyiliği istatistikleri şu şekildedir; Deviance goodness-of-fit = 1634.371, Prob > chi2(909) = 0.0000 ve Pearson goodness-of-fit = 1662.547, Prob > chi2(909) = 0.0000. Uyum iyiliğinden elde edilen anlamlı (p<0.05) bir test istatistiği, Poisson modelinin uygun olmadığını gösterir. Aşırı yayılım nedeniyle negatif binom dağılım uygulanmıştır.

B. Negatif-Binom Regresyon (NBR)

NBR modeli Poisson regresyonu ile aynı ortalama yapıya sahip olduğu ve aşırı dağılımı modellemek için fazladan bir parametreye sahip olduğu için Poisson regresyonunun bir genellemesi olarak düşünülebilir. Sonuç değişkeninin koşullu dağılımı aşırı dağılımı, Negatif binom regresyon için güven aralıklarının Poisson regresyonuna kıyasla daha dar olması muhtemeldir [50]. Negatif binom regresyon analizi için elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Negatif Binom Regresyon Analizi

art	Katsayılar	Std. Hata	z	P>z	%95 Güven	Aralığı
Negatif binom regresyon		Gözlem sayısı =	915			
		LR chi2(5) =	97.96			
Dispersion = mean		Prob > chi2 =	0.0000			
Log likelihood = -1560.9583		Pseudo R2 =	0.0304			
fem	-.2164184	.0726724	-2.98	0.003	-.3588537	-.0739832
mar	.1504895	.0821063	1.83	0.067	-.0104359	.3114148
kid5	-.1764152	.0530598	-3.32	0.001	-.2804105	-.07242
phd	.0152712	.0360396	0.42	0.672	-.0553652	.0859075
ment	.0290823	.0034701	9.38	0.000	.0222811	.0358836
_cons	.256144	.1385604	1.85	0.065	-.0154294	.5277174
/lnalpha	-.8173044	.1199372			-1.052377	-.5822318
alpha	.4416205	.0529667			.3491069	.5586502

Likelihood-ratio test of alpha=0: chibar2(01) = 180.20 Prob>=chibar2 = 0.000

NBR modeli bütün olarak test edildiğinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu görebiliriz (Prob > chi2=0.000). Bu model incelendiğinde mar ve phd değişkeni dışındaki değişkenler istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0.05).

NBR aşırı dağılımı sayım verileri için, yani koşullu varyans koşullu ortalamayı aştığında kullanılabilir. Bu modelde α (alpha=0.44) yayılım parametresini gösterir. Poisson modeli, bu alfa değerinin sıfırla sınırlandırıldığı modeldir. Başka bir deyişle; yayılım parametresi sıfır ise negatif binom dağılımı ve Poisson dağılımı eşdeğerdir. Bu analizde α sıfırdan önemli derecede farklı bulunmuştur. Bu durumda Poisson dağılımının uygun olmadığı pekiştirilir.

Aşırı dağılımın yaygın bir nedeni de ek bir veri oluşturma işleminin neden olduğu aşırı sıfırlardır. Bazı durumlarda yanlış belirlenmiş bir model, aşırı dağılım problemi gibi bir belirti sunabilir. Örneğin, bazı değişkenlerin modelden çıkarılması ya da modelin fonksiyonel biçiminin yanlış seçilmesi gibi. Aşırı dağılımın yaygın bir nedeni fazladan sıfırlar olup, bunların da ek bir veri oluşturma işlemi tarafından üretilmesidir.

Bu veri setinde 915 gözlem arasında 275 gözlem sıfırlardan oluşmaktadır. Yani verilerin yaklaşık %30'u sıfırlardan oluşmaktadır. Bu durumda zero-inflation (ZI) modeller de yapılabilir.

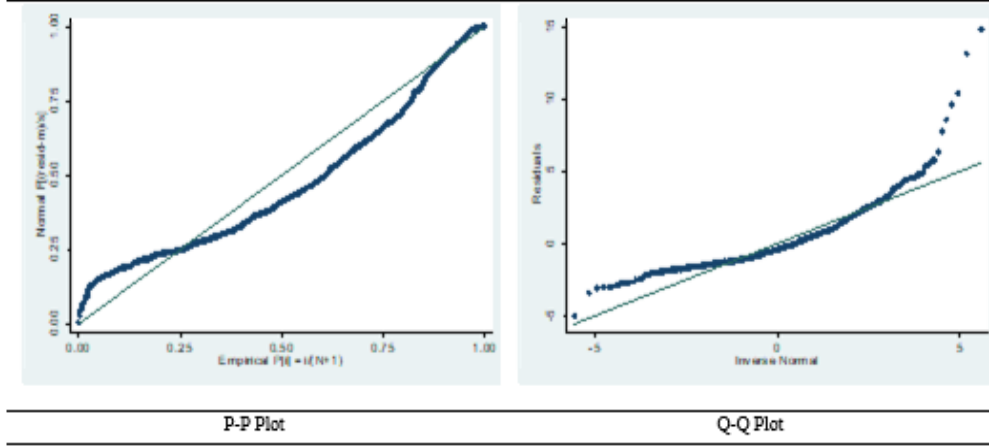
C. Kantil Regresyon (QR)

Kantil regresyon, doğrusal regresyondaki klasik varsayımlardan hata terimlerinin normal dağılımını ihmal eden sağlam bir regresyon tekniği olarak ortaya çıkmıştır. Çoklu doğrusal regresyon doğrusu aşırı değerleri yakalayamazken, farklı kantillerdeki regresyon doğruları aşırı değerleri rahat bir şekilde yakalayabilir. Çalışmada normallik varsayımı için Shapiro-Wilk testi kullanılmıştır. Shapiro-Wilk testi en güçlü normallik testlerinden biridir. Tablo 6 ile elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 6. Shapiro-Wilk Normallik Testi

Değişken	n	W	V	z	Prob>z
Artıklar	915	0.85042	87.008	11.019	0.00000

Tablo 6'ya göre p değeri 0,05'ten küçüktür. Buna göre artıklar normal dağılımı normal göstermemektedir. Böylece hata terimlerinin normal dağılım varsayımının ihlali söz konusudur. Bu durum P-P plot ve Q-Q Plot ile de görülebilir. Şekil 4' de grafikler verilmiştir. Bu grafikler bir istatistiksel test olmasa da artıkların normal dağılıp dağılmadığını görsel olarak kontrol etmenin kolay bir yolunu sunar.



Şekil 4. Artıklar için P-P Plot ve Q-Q Plot Grafikleri

Değişen varyans(heteroscedasticity), hata teriminin varyansının veri setindeki tüm gözlemler için eşit olmaması durumudur. Değişen varyans problemi, önemli bir değişkenin modelin dışında kaldığı durumlarda, aykırı değerlerin olduğu durumlarda ya da model kurma hatasının olduğu durumlarda oluşur. Değişen varyans durumunda hipotezler şu şekilde kurulur:

$$H_0: \sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_k^2 = \sigma^2 \quad (\text{Değişen varyans yoktur yani sabit varyanslıdır})$$

$$H_1: \sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_k^2 \neq \sigma^2 \quad (\text{Değişen varyans vardır})$$

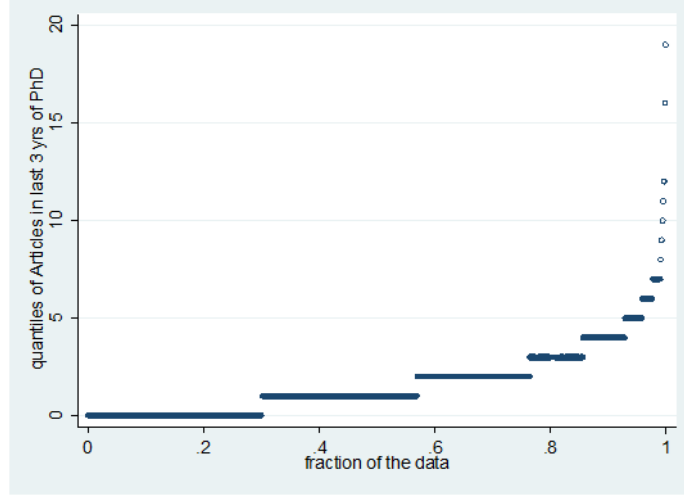
Değişen varyansın tespiti için farklı testler geliştirilmiştir. Bu çalışmada değişen varyans problemi, Breusch-Pagan testi ile test edilmiştir. $\text{Chi}2(1) = 244.04$ ($\text{Prob} > \text{chi}2 = 0.0000$). Test sonucuna göre $p < 0.05$ olarak bulunmuştur. Buna göre, sıfır hipotezi reddedilir (alternatif hipotezi reddedecek kadar yeterli kanıt yoktur) ve veride değişen varyans olduğu görülür. Böylece aykırı değerlerin veri setinde bağımlı ve bağımsız değişkenin dağılımını ve varyansının değiştirdiği yorumu yapılır. Yukarıda elde edilen sonuçlar bize EKKY yerine sayma verileri için başka yöntemlerin kullanılması gerektiğini ispatlar. Genel olarak bu gibi durumlarda sağlam yöntemler kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda özellikle aykırı gözlemler varsa kantil regresyonun kullanımının uygun olduğu görüşü vardır. Bu nedenle en yaygın kullanılan kantil değerleri için hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 7'de %25, %50, %75, %90 kantil değerleri için bulunan tahminler verilmiştir.

Tablo 7. Kantil Regresyon

Simultaneous quantile regression		Gözlem sayısı	=	915
bootstrap(100) SEs		.25 Pseudo R2	=	0.0380
		.50 Pseudo R2	=	0.0319
		.75 Pseudo R2	=	0.0630
		.90 Pseudo R2	=	0.0724

art	Katsayılar	Bootstrap				
		Std. Hata	t	P>t	%95 Güven	Arahğı
q25						
fem	-.0898876	.0707628	-1.27	0.204	-.2287651	.0489898
mar	.0674157	.1007282	0.67	0.503	-.1302712	.2651026
kid5	-.0674157	.0590475	-1.14	0.254	-.1833011	.0484696
phd	1.00	.0386999	0.00	1.000	-.0759516	.0759516
ment	.0449438	.0060887	14.062	0.000	.0329944	.0568933
sabit	1.00	.1093207	0.00	1.000	-.2145504	.2145504
q50						
fem	-.1274233	.0972173	-1.31	0.190	-.3182198	.0633732
mar	.1991342	.1151135	1.73	0.084	-.0267849	.4250533
kid5	-.1633729	.0710861	-2.30	0.022	-.3028847	-.023861
phd	.0376435	.0593335	0.63	0.526	-.0788031	.1540902
ment	.0479955	.0086205	5.57	0.000	.031077	.064914
sabit	.706757	.2110244	3.35	0.001	.2926053	1.120.909
q75						
fem	-.1542744	.2071772	-0.74	0.457	-.5608755	.2523268
mar	.2576541	.1799044	1.43	0.152	-.0954222	.6107303
kid5	-.2934394	.13209	-2.22	0.027	-.5526761	-.0342026
phd	-.0397614	.1012572	-0.39	0.695	-.2384866	.1589637
ment	.07833	.0224941	3.48	0.001	.0341835	.1224765
sabit	1.933.201	.2760592	7.00	0.000	1.391.413	2.474.988
q90						
fem	-.5092639	.2771373	-1.84	0.066	-1.053.167	.0346394
mar	.0916375	.3516539	0.26	0.794	-.5985104	.7817854
kid5	-.3885829	.1753955	-2.22	0.027	-.7328101	-.0443557
phd	.2003004	.1573264	1.27	0.203	-.1084647	.5090656
ment	.116675	.0258961	4.51	0.000	.065852	.1674981
sabit	2.758.137	.6215158	4.44	0.000	1.538.365	397.791

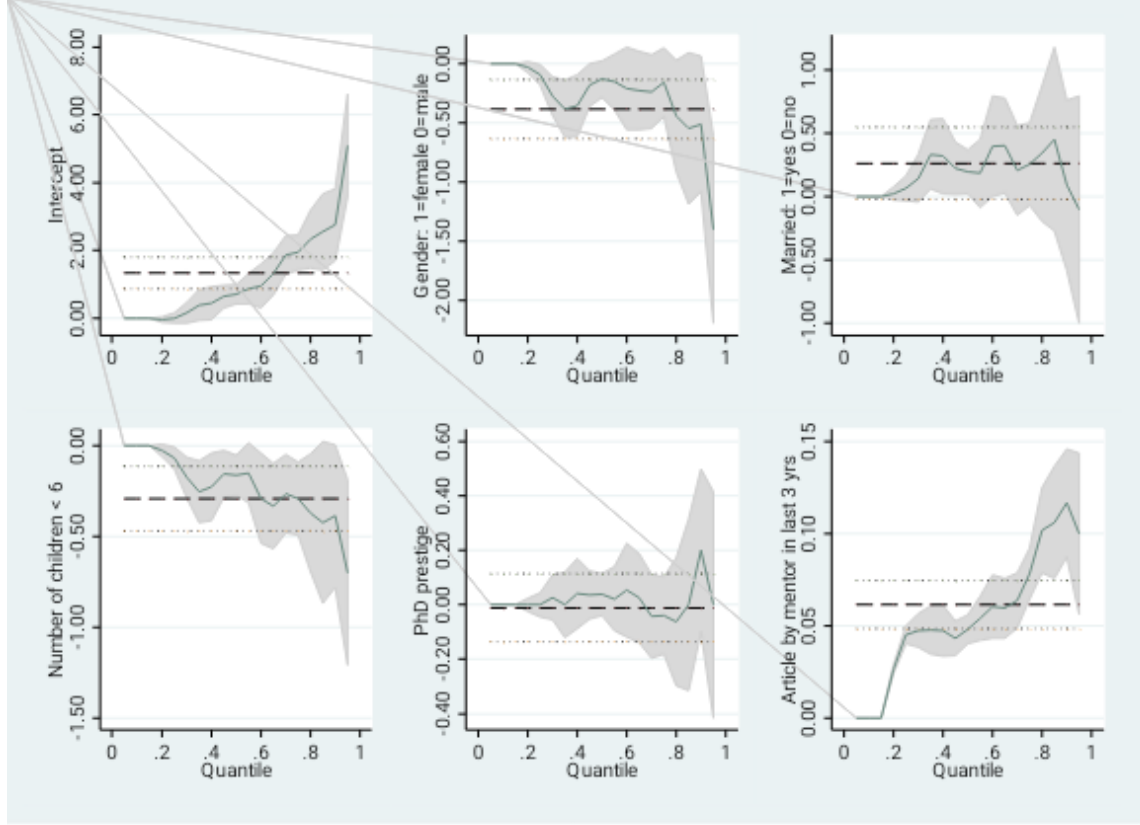
Kantil regresyon sonuçları doğrusal regresyon sonuçları ile aynı şekilde yorumlanır. Fakat anlamlı olan değişkenler farklılık gösterebilir. Tablo 7'deki sonuçlara baktığımızda %25'de ment değişkeni anlamlı diğer değişkenler anlamsız bulunmuştur. %50, %75 ve %90'da kid5 ve ment, değişkeni anlamlı fem, mar ve phd değişkenleri anlamsızdır. Buna göre ment değişkeni tüm kantillerde yüksek öneme sahiptir.



Şekil 5. art Değişkenin Kantillere Göre Serpilme Diyagramı

Şekil 5’de kantillere göre serpilme diyagramı verilmiştir. Buna göre bağımlı değişken çok düşük değerlerle başlıyor sonra yükseliyor. Kantil regresyon analizinden seçilen değişkenlerin tahmini katsayıları 0,10–0,90 yüzdeler dilimler olarak gösterilir (Şekil 6).

Panelli kantil işlem grafikleri, bağımlı değişkenin dağılımının farklı bölümleriyle hangi tahmincilerin ilişkili olduğunu kolayca belirlemenize yardımcı olur. Böylece bağımsız değişkenlerin her birinin etkilerine her bir kantilde bakabiliriz. Bunu yapmanın en iyi yolu grafiksel gösterimdir. Şekil 6 ile her bir değişken için kantiller gösterilmektedir. Bu kantil grafiği, kantil düzeyinin bir fonksiyonu olarak parametre tahminlerini ve %95 güven sınırlarını göstermektedir.



Şekil 6. Kantil Regresyon Katsayıları

Bağımlı değişkenin kantilleri yatay eksen, katsayı büyüklükleri dikey eksenindedir. EKKY katsayılarının (- - -) kantillere göre değişmediği görülmektedir. Kantil regresyon katsayıları (kalın düz çizgiler), etraflarında güven aralıklarıyla kantiller arasında değişen çizgiler olarak çizilir. Kantil katsayısı EKKY güven aralığının dışındaysa, kantil ve EKK katsayıları arasında önemli farklar vardır. Buna göre en etkili değişken mentor değişkenidir. %50 kantilden sonra kid5 değişkeninin de anlamlı olduğunu görmekteyiz. NBR modelinde cinsiyet (fem) değişkeni önemli bulunmasına rağmen QR'da da bu değişken tüm kantillerde anlamsız bulunmuştur.

VII. SONUÇLAR

Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki araştırılırken en yaygın kullanılan yöntem regresyon analizidir. Regresyon analizinde tercih edilen EKKY'de bağımlı değişken sürekli olmalıdır. Sayıma dayalı olarak elde edilen sayma verileri ile analiz yapılacak olursa sapmalı sonuçlar elde edildiği bilinmektedir. Ayrıca bu analiz için uygulanan EKKY ile elde edilecek sonuçlar, varsayımlar (hata teriminin dağılımının normal olması, otokorelasyon olmaması, eşit varyans olması vb.) sağlanmadığında, güvenilir olmaz. Ayrıca gözlem değerlerinde aykırı gözlem olup olmaması da tahminlerin güvenilirliğini etkileyecektir. EKK tahmin edicisi aykırı değerlere karşı hassasiyet gösterir ve güvenilir sonuçlar vermekten uzaktır.

Sayma verileri eşit yayılım, aşırı yayılım ve eksik yayılım durumuna göre farklı modeller ile analiz edilmektedir. Sayma verilerinde en yaygın kullanılan modeller PR ve NBR modelleridir. PR modelinin uygulanabilmesi için veri kümesinin ortalama ile varyansının birbirine eşit olması gerekmektedir. Varyansın ortalamadan büyük ya da küçük olması veri kümesinde aşırı (ya da eksik) yayılım olduğunu gösterir. Bu durumda Genelleştirilmiş PR, NBR, Quasi Poisson gibi farklı sayma verisi modelleri kullanılmaktadır. Bunlar arasında NBR literatürde en çok tercih edilen modeldir. Veri kümesinde fazladan sıfırlar olursa PR ve NBR modellerinin sıfır yayımlı (Zero Inflated-ZI) olanları ve Hurdle modeller tercih edilmelidir.

Bu çalışmada kullanılan örnek veri setinde bağımlı değişken sayma verilerinden oluşmaktadır. Bu nedenle, önce sayma verilerinde çok kullanılan PR ile analiz yapılmıştır. Fakat veri setinde aşırı yayılım tespit edildiğinden daha sonra NBR analiz uygulanmıştır. Bu sayma modelleri karşılaştırmak için log-likelihood, AIC ve BIC değerleri kullanılmıştır. NBR modelinden elde edilen değerler Poisson modelinde elde edilen sonuçlara göre daha küçük bulunmuştur (Tablo 8). Bu sonuç NBR modelin PR modelinden daha iyi bir model olduğunu göstermektedir.

Tablo 8. PR ve NBR İçin Log Likelihood, AIC, BIC Değerleri

	PR	NBR
Log likelihood	-1651.0563	-1560.9583,
AIC	3314.113	3135.917
BIC	3343.026	3169.649

Sayma modelleri genel olarak bağımlı değişkenin koşullu ortalamasını modellemeye dayanır. Ancak koşullu ortalama modelleri bağımlı değişkenin aykırı değerlerine duyarlı olabilir. Sayma modelleri için Poisson ve bunun uzantısı olan modeller yaygın kullanılsa da son yapılan çalışmalarda sayıma dayalı elde edilen veriler için sağlam regresyon yöntemlerinden biri olan kantil regresyonun da kullanıldığını görmekteyiz.

Kantil regresyon özellikle aykırı gözlem değerleri olduğunda EKKY gibi klasik yöntemlerden daha iyi sonuç verdiği bilinmektedir. Bu nedenle çalışmada önce aykırı gözlemlerin varlığı araştırılmıştır. Aykırı gözlemler olduğu tespit edildiğinden PR ve NBR sayma modellerinin yanında kantil regresyon analizi uygulanarak farklı kantillerdeki (%25, %50, %75 ve %90) aşırı değerler tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Khoshgoftaar, T.M., Gao, K. & Szabo, R.M. (2005). Comparing Software Fault Predictions of Pure and Zero-inflated Poisson Regression Models. *International Journal of Systems Science* 36(11), 707-715.
- [2] Cui, Y. & Yang, W. (2009). Zero-Inflated Generalized Poisson Regression Mixture Model for Mapping Quantitative Trait Loci Underlying Count Trait With Many Zeros. *Journal of Theoretical Biology*, 256, 276-285.
- [3] Martin, S.W., Rose, C.E, Wannemuehler, K.A. & Plikaytis, B.D. (2006). On the of Zero-inflated and Hurdle Models for Medelling Vaccine Adverse event Count Data. *Journal of Biopharmaceutical Statistics*, 16, 463-481.
- [4] Lambert, D. (1992). Zero-Inflated Poisson Regression, with An Application to Defects in Manufacturing, *Technometrics*, 34(1), 1-14.
- [5] Green, W.H. (1994). Accounting for Excess Zeros and Sample Selection in Poisson and Negative Binom Regression Models, NYU Working Paper No. EC-94-10, 1-32.
- [6] Koenker, R. & Basett, G. (1978). Regression Quantiles, *Econometrica*, 46(1): 33-50.
- [7] Manski, C. F. (1975). Maximum Score Estimation of the Stochastic Utility Model of Choice. *Journal of Econometrics*, 3, 205-228.
- [8] Manski, C.F. (1985). Semiparametric Analysis of Discrete Response: Asymptotic Properties of the Maximum Score Estimator. *Journal of Econometrics*, 27, 313-333.
- [9] Horowitz, J. L. (1992). A Smooth Maximum Score Estimator for the Binary Response Model, *Econometrica*, 60, 505-531.
- [10] Horowitz, J.L. (1998). *Semiparametric Methods in Econometrics*, New York: Springer-Verlag, 100.
- [11] Powell, J.L. (1984). Least Absolute Deviation Estimation for the Censored Regression Model. *Journal of Econometrics*, 25, 303-325.

- [12] Powell, J.L. (1986). Censored Regression Quantiles, *Journal of Econometrics*, 32, 143-155.
- [13] Lee, M.J. (1992). Median Regression for Ordered Discrete Response, *Journal of Econometrics*, 51, 59-77.
- [14] Koenker, R., & Biliyas, Y. (2001). Quantile Regression for Duration Data: A Reappraisal of the Pennsylvania Reemployment Bonus Experiments. *Empirical Economics*, 26, 199-220.
- [15] Koenker, R., & Geling, O. (2001). Reappraising Medfly Longevity: A Quantile Regression Survival Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 96, 458-468.
- [16] Machado, J.A.F. & Portugal, P. (2002). Exploring Transition Data through Quantile Regression Methods: An Application to U.S. Unemployment Duration. *Statistical Data Analysis Based on the L1-Norm and Related Methods*, 77-94.
- [17] Machado, J.A.F. & Santos Silva, J.M.C. (2005). Quantiles for Counts. *Journal of the American Statistical Association*, 100(472), 1226-1237.
- [18] Wu, H., Gao, L. & Zhang, Z. (2014). Analysis of Crash Data Using Quantile Regression for Counts, *Journal of Transportation Engineering*, 140(4).
- [19] Congdon, P. (2017). Quantile Regression for Overdispersed Count Data: A Hierarchical Method. *Journal of Statistical Distributions and Applications*. 4(18), 1-19.
- [20] Chernozhukov, V., Fernández-Val, I., Blaise Melly, B. & Kaspar Wüthrich K. (2020). Generic Inference on Quantile and Quantile Effect Functions for Discrete Outcomes. *Journal of The American Statistical Association*, 115(5299), 123-137.
- [21] Frumento, P., & Salvati, N. (2021). Parametric modeling of quantile regression coefficient functions with count data. *Statistical Methods & Applications*, 30:1237–1258.
- [22] Lamarche, C., Shib, X., & Young, D.S. (2021). Conditional Quantile Functions for Zero-Inflated Longitudinal Count Data. *Econometrics and Statistics* (basımda) <https://gatonweb.uky.edu/faculty/lamarche/ZIPQR.pdf>
- [23] Çınar, U.K. (2019). En Küçük Kareler Regresyonuna Alternatif Bir Yöntem: Kantil Regresyon. *Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi*, 7(18), 57-71.
- [24] Yu, K., Lu, Z. & Stander, J. (2003). Quantile Regression: Applications and Current Research Areas. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 52, 331-350.
- [25] Saçaklı, İ., (2005). *Kantil Regresyon ve Alternatif Regresyon Modelleri ile Karşılaştırılması*. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, İstanbul.
- [26] Sinharay, S. (2010). *Discrete Probability Distributions*. International Encyclopedia of Education (Third Edition), 1-11.
- [27] Favero, L.P., Souza, R.F., Belfiore, P., Corrêa, H.L. & Haddad, M.F.C. (2021). Count Data Regression Analysis: Concepts, Overdispersion Detection, Zero-inflation Identification, and Applications with R, *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 26, 1-22.
- [28] Yip, K.C.H. & Yau, K.K.W. (2005). On Modeling Claim Frequency Data in General Insurance With Extra Zeros. *Insurance: Mathematics and Economics*, 36(2), 153-163.
- [29] Cameron, A.C. & Trivedi, P.K. (1990). Regression-based Tests for Overdispersion in the Poisson Model. *Journal of Econometrics*, 46, 347-364.
- [30] Ismail, N. & Jemain, A.A. (2007). Handling Overdispersion with Negative Binom and Generalized Poisson Regression Models. *Virginia: Casualty Actuarial Society Forum*, 103-158.
- [31] Kıbar, F.T. (2008). *Trafik Kazaları ve Trabzon Bölünmüş Sahil Yolu Örneğinde Kaza Tahmin Modelinin Oluşturulması*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- [32] NNCS. (2020). *Negative Binom Regression*. NCSS Statistical Software, Chapter 326.
- [33] Cameron, A.C. & Trivedi, P.K. (2013). *Regression Analysis of Count Data*, Cambridge University Press, 566.
- [34] Zwilling, M.L. (2013). Negative Binom Regression, *The Mathematica Journal*, 15, 1-18.
- [35] Boucher, J.P., Denuit, M. & Guillen, M. (2007). Risk Classification for Claim Counts: Mixed Poisson, Zero-Inflated Mixed Poisson and Hurdle Models. *North American Actuarial Journal*, 11(4), 110- 131.
- [36] Fox J. (1997). *Applied Regression Analysis: Linear Models And Related Methods*. Sage Publication, USA, 123-240.
- [37] Neter, J., Kutner, M., Nachtsheim, C. & Wasserman, W. (1996). *Applied Lineear Regression Models*, Irwin, USA, 561.
- [38] Barnett, V., & Lewis, T. (1994). *Outliers in Statistical Data*. John Wiley Sons, Canada, 7-25.
- [39] Çamurlu, S. & Erilli, N.A. (2019). Kantil Regresyon Analizinde Bootstrap Tahmini. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 35(2), 16-25.
- [40] Rousseeuw, P. & Leroy, A. (1987). *Robust Regression and Outlier Detection*. John Wiley Sons, Canada, 84-143.
- [41] Wang, H. (2007). Quantile Regression: Overview and Applications to Risk Assessment. *North Caroline State University*, 1-26.
- [42] Geraci, M. (2021). *Qtools: A Collection of Models and Tools for Quantile Inference*.
- [43] Koenker, R. (2005). *Quantile Regression*, London: Cambridge University Press, 349.
- [44] Elmalı, K. (2014). *Kantil Regresyon ve Negatif Binom Regresyon İle İllerde Kullanılan İlaç Sayısına Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Ekonometri Anabilim Dalı, Erzurum.
- [45] Akaike, H. (1973). Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. In Petrov B.N., & Csaki F. (Eds.), *Proceedings of the 2nd International Symposium on Information Theory*, 267-281.
- [46] Hurvich, C.M. & Tsai, C. (1989). Regression and Time Series Model Selection in Small Samples. *Biometrika*, 76, 297-307.
- [47] McQuarrie, A.D.R. & Tsai, C. (1998) *Regression and Time Series Model Selection*. World Scientific Publishing Company, Singapore, 480.
- [48] Sugiuna, N. (1978). Further Analysis of the Data by Akaike's Information Criterion and the Finite Corrections. *Communication in Statistics-Theory and Methods*, 57, 13-26.
- [49] Long, S.J. & Freese, J. (2001). Predicted Probabilities for Count Models. *The Stata Journal*, 1, 51-57.
- [50] Ucla Statistical Consulting (2021), *Poisson Regression-Stata Data Analysis Examples*. <https://stats.idre.ucla.edu/stata/dae/poisson-regression>

Araştırma Makalesi- Research Article

COVID-19 Hastalarının Hastanede Yatılı Olarak Tedavi Olma Süresine Etki Edebilecek Risk Faktörlerinin Cox-Regresyon Analizi ile İncelenmesi

A Study of Factors Affecting the Length of Hospital Stay of COVID-19 Patients by Cox-Regression Analysis

Serap Yörübulut^{1*}

Geliş / Received: 08/11/2021

Revize / Revised: 01/06/2022

Kabul / Accepted: 01/06/2022

ÖZ

Hastane yönetimi için COVID-19 hastalarının, hastanede yatılı olarak tedavi görme sürelerinin tahmin edilmesi; bu hastalıkla mücadele planlamasının yapılması ve yatak kapasitelerinin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Bu bağlamda Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde COVID-19 teşhisi konulan hastaların, hastanede tedavi görme ve hayatta kalma sürelerine etki edebilecek risk faktörlerinin belirlenmesi için yaşam analizlerinden Cox regresyon modeli ve Khi-kare testleri kullanılmıştır. 24.03.2020 ile 28.07.2021 tarihleri arasında 18 yaş üstü 12233 kişi taranmış ve hastanede yatılı tedavi gören 2278 COVID-19 hastası çalışmaya dahil edilmiştir. Hastanede yatılı olarak tedavi gören erkeklerin, kadınlara göre hastanede daha uzun yatılı tedavi süresine sahip olduğu belirlendi. Artan yaşın, hastanede daha uzun yatılı tedavi süresiyle ilişkili olduğu gözlemlendi. Çalışmada hastanede tedavi gören hastaların hayatta kalma sürelerine yaş, cinsiyet ve sağlık güvence sisteminin etkili olduğu test edildi. İlgili faktörler göz önüne alınarak salgınla mücadelede kriz ortamının oluşmaması için şehir veya bölge nüfusunun sosyo-demografik yapısı dikkate alınarak hastanede yatılı tedavi süresinin belirlenmesi hastane yatak ve kriz yönetimi için önemli olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler- COVID-19, Cox Regresyon, Hastanede Yatılı Tedavi Süresi, Ölüm Oranı, Yaşam Analizi

ABSTRACT

Estimating the duration of inpatient treatment of COVID-19 patients for hospital management; it is very important to plan fight against this disease and to determine the bed capacities. In this context, it is aimed to determine the risk factors that may affect the duration of treatment and survival of patient diagnosed with COVID-19 in Kırıkkale University Faculty of medical hospital, The Cox regression model and Chi-square tests were used for survival analysis. 2278 Covid-19 patients who were hospitalized in this study between 24.03.2020 and 28.07.2021. It was determined that men who were treated as inpatients at the hospital had a longer inpatient treatment period than women. In this study, it was observed that age, gender and health insurance system were effective on the survival time of patients treated in the hospital. Considering the relevant factors, it is thought that it is important for hospital bed management to determine the duration of inpatient treatment in the hospital taking into account the socio-demographic structure of the population of the city or region, in order not to create a crisis environment in the fight against the epidemic.

Keywords- COVID-19, Cox regression, Length Of Stay In Hospital, Mortality Rate, Survival Analysis

^{1*}Sorumlu yazar iletişimi: siybulut@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-0781-4405>)
İstatistik Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kırıkkale, Türkiye

I. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nun, "Uluslararası halk sağlığı acil durumu" ilan etmesine sebep olan ve tüm dünyayı hızlı bir şekilde etkileyen COVID-19 pandemisi, 2019 yılı sonlarında ortaya çıkan, soğuk algınlığından, yüksek ateşe, tat ve koku kaybından, solunum yolu enfeksiyonlarına kadar değişen, çeşitli hastalıklara hatta ölüme yol açan, korona virüs adı verilen geniş bir virüs ailesinden gelmektedir.

COVID-19 pandemisi istisnasız olarak, tüm dünyaya beklenmedik yeni yükler ve sorumluluklar getirmiştir. Pandemi ile hızlı ve etkili bir mücadele yapabilmek için, ülkelerin ekonomik kaynakları, mücadele yöntemleri ve sağlık sistemlerinin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Bu salgının öngörülemez seyri ile mücadelede bazı ülkelerin sağlık sistemleri ihtiyaca cevap verirken, içlerinde gelişmiş ülkelerin de olduğu bazı ülkelerin sağlık sistemleri, vatandaşlarının ihtiyaçlarını karşılamakta ve sağlık hizmeti almalarında yetersiz kalmışlardır.

Türkiye'nin salgınla mücadelesi, diğer ülkelerle kıyaslandığında, vatandaşlarına avantajlar sunmakta kalmayıp, sağlık bakanlığının 2003 yılında "Önce İnsan" sloganıyla, Dünya Sağlık Örgütü'nün "21. Yüzyılda Herkes için Sağlık (Health for all in the 21st Century)" politikasını benimsemesi, herkesi kapsayan sağlık güvencesi (universal health coverage) kapsamında, ülkede yaşamakta olan göçmenler de dahil olmak üzere tüm bireylere COVID-19 ile ilişkili tüm tanı, tedavi, takip ve aşılama hizmetleri ücretsiz verilmektedir.

Türkiye'de 2008 yılından önce, farklı kapsamlarda hizmet sunan ve eşitsizliklere sebep olan sağlık güvence türleri mevcuttu. Bunlar; kayıtlı çalışan işçiler için Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK), emekli kamu personelleri için Emekli Sandığı, Aktif Kamu Çalışanı Sigorta Sistemi, serbest meslek çalışanları için BAĞ-KUR ve düşük gelir grubundaki insanlar için de Yeşil Kart olarak sınıflandırılmıştı. 2008 yılında Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) 'nın kurulması ile bütün bu sağlık sistemleri tek bir çatı altında toplandı. Bu yeni düzenleme ile sigortalı nüfusun, toplam Türkiye nüfusuna oranı 2014 yılında %83,73'ye ulaşmış; kapsam dışı kalan toplumun %16,3'nü teşkil eden nüfusun ise primleri kendileri tarafından veya devlet tarafından ödenerek Genel Sağlık Sigortası (GSS) kapsamında sağlık hizmetlerine erişim sağladıkları görülmektedir [1].

Ayrıca GSS olan vatandaşlara, sınırlandırılmış bir ilave ücret ödeyerek, özel sağlık kuruluşlarından hizmet alma imkânının sunulmasıyla artan özel hastanelerin çoğu pandemi hastanesine dönüştürülmüştür.

Virüsün ortaya çıkışıyla özel sağlık kuruluşlarının da Sağlık Uygulama Tebliğinin 1.9.3. maddesinde yapılan ve 09.04.2020 tarihli Resmi Gazete'de yayınlanan değişiklik ile kapsam dışı olmasına rağmen, salgın nedeniyle oluşan sağlık harcamaları özel ödeme kapsamına alınmıştır. Bu düzenleme ile birlikte sağlık sigortalarının önemi daha çok anlaşılmıştır. Meydana gelen hasarlar sonucunda oluşacak risklere karşı poliçe teminatları ve kapsamlarının bu durumdan nasıl etkileneceğinin araştırılması önemli hale gelmiştir. Bu kapsayıcı düzenlemeler ile hem devlet hastaneleri hem de özel hastanelerin ücretsiz hizmet vermeleri pandemi ile mücadelede çok önemli rol oynamıştır [2].

Ayrıca salgınla mücadelede oldukça önemli bir yere sahip olan yatak kapasitesi 2021 yılı Meclis bütçe görüşmelerinde, her 10 bin kişiye 28 olarak Sağlık Bakanlığı tarafından açıklanmıştır. Bu rakam Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ortalamasına göre 40'tır. Yoğun bakım yatak sayısı ise Türkiye'de, 100 bin kişiye 40 yatak ile dünyada en fazla orana sahip kapasite olarak açıklanmıştır [3]. Hastanelerin yatak kapasitelerinin hastanede yatılı olarak tedavi görme süreleriyle yakından ilişkili olduğundan hastanede yatılı olarak tedavi görme sürelerinin tahmin edilmesi ve bu süreyi etkileyecek faktörlerin belirlenmesi, salgınla mücadelede oldukça önemli hale gelmiştir.

Literatürde COVID-19 hastalarına ilişkin önemli sonuçlar, çeşitli istatistiksel analizler ile ortaya konulmuştur. Özellikle hastaların yatılı olarak tedavi görme süreleri ve hayatta kalma durumlarına etki eden faktörler yaşam analizleri ile test edilmiştir.

Vietnam'da yapılan bir çalışmada, COVID-19 teşhisi konulan hastaların epidemiyolojik ve demografik özelliklerin hastanede kalma süresi üzerindeki önemliliğini Cox oransal hazard regresyon modeli kullanılarak ortaya konmuştur [4]. Ayrıca hastanede yatılı olarak kalma süresinin medyanı 21 olarak belirlenmiştir.

Sousa vd. Brezilya'nın kuzeydoğu bölgesindeki bir eyalette COVID 19 vakalarının mortalitesi ve hayatta kalmasıyla ilişkili risk faktörlerinin belirlenmesi için robust Poisson regresyon, Kaplan–Meier ve Cox regresyon analizlerini kullanmışlardır. Özellikle ileri yaş ve komorbiditesi olan COVID-19 hastalarının ölüm olasılıklarının yüksek olduğunu göstermişlerdir [5].

Richter ve Wilson pandemi olması halinde meydana gelecek beklenmedik durumları planlayarak çeşitli politika ve senaryolar ile pandemi riskinin sigortalanabilirliğini ele almışlardır [6].

Atukalp, COVID-19'un Türkiye'de sağlık sigortası sektöründeki etkilerini incelemek için Ocak 2019-Aralık 2020 dönemini ele alarak sağlık alt branşlarındaki teminat adetlerini incelemiştir [7].

Çetin vd.'leri Tokat devlet hastanesinde yatılı olarak tedavi gören 404 hastanın; yaş, cinsiyet, yoğun bakımda tedavi olma durumu ile bazı klinik faktörlerin yatılı olarak kalma süresi üzerindeki etkisini doğrusal regresyon ve Cox- regresyon modelleri ile ortaya koymuşlardır [8].

Yong vd'leri COVID-19 hastalarının geriye dönük tıbbi kayıtlarını inceleyerek hastanede yatılı kalma süresine kalp atış hızı, öksürük, lenfosit sayısı, prokalsitonin ve epidemiyolojik öykünün etkisi olduğunu çok değişkenli regresyon modeli ile açıklamışlardır [9].

Bu çalışmada, Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Pandemi polikliniğinde, 03.03.2020 ile 28.07.2021 tarihleri arasında COVID-19 teşhisi konulan ve hastanede yatılı olarak tedavi gören, 2278 hasta Kırıkkale Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurul izni ile incelenmiştir. COVID-19 hastalarının hayatta kalma durumuna; cinsiyetin, yaşın, hastaneye ilk geliş durumunun ve sağlık güvence sisteminin etkisinin olup olmadığı, Khi-Kare testi ile test edilmiştir. Yaşam analizi için şekiller Kaplan Meier yöntemiyle yapıldı. Yaşam analizinde olay olarak ölüm seçildi, zaman olarak yatılı tedavi görme süresi ve bağımsız değişkenler olarak yaş, cinsiyet, hastaneye geliş durumu, sağlık güvence sistemi kullanıldı. Bağımsız değişkenlerin yatılı tedavi görme süresi üzerinde anlamlı fark olup olmadığı Log Rank testiyle kontrol edildi. Yatılı tedavi süresini öngörebilecek değişkenleri belirlemek için Cox Regresyon analizi yapıldı.

II. MATERYAL VE METOT

Günümüzde yaşam analizi, hastalıkların ölüm riskleri ve bu riskler üzerinde etkili olan ve hastalığın seyrini belirleyen faktörleri saptamak amacıyla sıklıkla kullanılan zaman ve olay olmak üzere iki önemli unsuru bulunan analiz yöntemidir. Yaşam analizi, belirli bir hastalığa sahip olan ve bu hastaya uygulanan tedaviden sonra beklenen yaşam süresinin tahmin edilmesi ve tedavi seçeneklerinin etkinliklerini belirlemeyi amaçlamaktadır [10].

Yaşam analizleri ile elde edilen yaşam tabloları; yaş, cinsiyet, yaşanan bölge ve zamana göre toplumda meydana gelen hastalıkların salgın özelliğinde olup olmadığına göre farklılık göstermekte ve özellikle ülkelerin sağlık politikalarının belirlenmesi, sigortacılık ve nüfus biliminde sıklıkla kullanılmaktadır.

Cox regresyon modeli, yaşam analizlerinde en çok kullanılan ve yaşam süresi üzerinde etkili olan faktörlerin belirlenmesinde belirli bir dağılım varsayımına ihtiyaç duyulmayan yarı parametrik bir yöntemdir [11]. Cox regresyon modeli'nin bir diğer adı orantılı hazard modeli'dir.

T, bir birimin yaşam süresini temsil eden sürekli rasgele değişkeni ve \mathbf{x} bu birimle ilgili bilinen açıklayıcı değişkenler vektörü olmak üzere Cox regresyon modeli (1) eşitliğinde

$$h(t, \mathbf{x}) = h_0(t)\psi(\mathbf{x}) \quad (1)$$

verilmiştir. Burada $\psi(\mathbf{x})$ birimlerin özelliklerine göre değişik biçimlerde olan \mathbf{x} vektörünün hazard fonksiyonu üzerindeki çarpımsal etkisini ifade etmektedir. Örneğin doğrusal form için $\psi(\mathbf{x}) = 1 + \beta^T \mathbf{x}$ iken lojistik form için $\psi(\mathbf{x}) = \log(1 + \exp(\beta^T \mathbf{x}))$ olabilmektedir. Cox'un 1972'de ele alınan model ise (2) eşitliğinde

$$h(t, \mathbf{x}) = h_0(t) \exp(\mathbf{x}\beta) \quad (2)$$

verilmiştir. Burada $h_0(t)$, temel hazard fonksiyonu; β regresyon katsayıları vektörü olmak üzere Cox regresyon modelinin diğer yaşam modellerinden farklı olarak, temel hazard fonksiyonu için özel bir biçimin varsayılmadığı, dağılımdan bağımsız bir yaklaşımdır [11]. Cox regresyon modeli orantılı hazard varsayımına dayanmasına rağmen, yaşam süresi için olasılık dağılımının belirli bir biçimi yoktur. Bu nedenle, orantılı hazard modeli yarı parametrik bir modeldir ve temel hazard fonksiyonunun gerçek biçimini içeren hiçbir varsayım yoktur. Aynı şekilde Cox regresyon modelinde β katsayı vektörü hiçbir varsayım yapılmadan tahmin edilebilmektedir. Durdurulmuş veriler için kullanılan modellerden olan Cox regresyon modelinde yaşam zamanının olasılık dağılımının belirli bir biçimi olmadığından esnek ve yaygın kullanıma sahiptir. Yaşam analizinde durdurulmuş

veri oranına göre modeller seçilebilir. Özellikle durdurma oranının seviyesine göre Cox regresyon modeline alternatif olarak Buckley-James modeli kullanılabilir. Ancak uygulamada Buckley-James modelinin tercih edilememesinin sebebi uygun paket programlar ile analizlerin yapılamamasıdır [12].

β katsayı vektörünün anlamlılığını test etmek için t veya z istatistiğinin genelleştirilmiş şekli olan, en çok olabilirlik tahmini (MLE) ve hipotezlenen değer arasındaki farkın bir fonksiyonu olan Wald istatistiği kullanılmıştır. Tek bir değişken için Wald test istatistiği;

$$W = (\beta / se_{\beta})^2 \quad (3)$$

(3) eşitliğinde verilmiştir. Büyük n değerleri için Wald istatistiği 1 serbestlik dereceli Khi-Kare dağılır [13].

Cox regresyon analizi sonucunda elde edilen modelin yorumlanmasında kategorik olan bağımsız değişken düzeylerinden biri referans kategorisi olarak alınmakta ve değişken düzeylerinin yorumlanması buna göre yapılmaktadır. Bu çalışmada, modeldeki değişkenin katsayısı β ; katsayı parametresinin standart hatası (S.H.), katsayının anlamlılığı için p değeri, hazard oranı ($\exp(\beta)$) ile değişken düzeyleri için hazard oranının alt ve üst sınırları verilmiştir. β parametresinin pozitif değer olması bu düzeyin referans kategorisine göre daha fazla riskli olduğunu, β parametresinin negatif değer olması ise bu düzeyin referans kategorisine göre daha az riskli olduğunu göstermektedir. Hazard oranı olan $\exp(\beta)$ değeri ile önemli bulunan düzeyin, referans kategorisine göre kaç kat (ya da % ne kadar) daha riskli olduğu yorumu yapılabilmektedir. Modelde anlamlı bulunan değişkenlerin her bir düzeyine karşılık gelen p değerlerine bakılarak bağımsız değişken düzeylerinden önemli olanlar belirlenmektedir [14].

Yaşam analizinde, yaşam süresini etkileyecek değişkenleri belirlemek için Cox orantılı hazard modelinin kullanılabilmesi için değişkenlerin orantılı hazard varsayımını sağlaması gerekmektedir. Orantılı hazard varsayımının test edilmesinde; log(-log) yaşam eğrileri, gözlenen ve beklenen yaşam eğrileri, Schoenfeld artıkları ile yaşam süresinin rankı arasındaki korelasyon testi yöntemi ve modele zamana bağlı açıklayıcı değişkenlerin eklenmesi yöntemleridir [8,15,16].

Orantılı hazard varsayımında, değişkenle birlikte zamana bağlı açıklayıcı değişkenlerin zamanın bazı fonksiyonlarını içeren $g(t)$ çarpım teriminin modele eklenmesi ile orantılı hazard varsayımı test edilebilir. $g(t)$ fonksiyonu;

$$\begin{aligned} * g(t) &= t \\ * g(t) &= \log t \\ * g(t) &= \begin{cases} 1 & t \geq t_0 \\ 0 & t < t_0 \end{cases} \quad (\text{Adım fonksiyon}) \end{aligned} \quad (4)$$

farklı biçimlerde olabilir [17].

III. UYGULAMA

Çalışma için 24.03.2020 ile 28.07.2021 tarihleri arasında Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde COVID-19 teşhisi konulan 12732 kişi taranmış ve hastanede yatılı olarak tedavi gören 18 yaş üstü bireyler içerisinde bilgilerine tam olarak ulaşılabilen 2278 kişi araştırmaya dahil edilmiştir. Verilerin istatistiksel analizinde SPSS paket programı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların istatistiksel açıdan anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edildi. Çalışmaya katılan bireylerin cinsiyeti, sağlık güvencesi, hastaneye geliş durumu, yaşı ve yatılı kaldığı süre faktörlerinin hastanın hayatta kalma durumu üzerindeki etkisi Khi-Kare testi ile test edilmiştir. İncelenen tarihler arasında COVID-19 sebebiyle hayatını kaybeden 130 kişinin 85(%65,3)'i erkek 45(%34,7)'i kadındır. Taburcu olan 2148 hastanın ise 1074(%50)'si erkek 1074(%50) kadındır. Çalışmaya dahil edilen bireylerin yaş ortalaması $58,28 \pm 19,186$ (min-max:18-96) yıldır. COVID-19 tanısı konan ve hayatta olan bireylerin yaş ortalaması $57,31 \pm 19,063$ (min-max:18-96) iken hayatını kaybeden bireylerin yaş ortalaması $74,59 \pm 12,852$ (min-max:21-95) yıldır. Çalışmaya katılan bireylerin %94,3 hayatta iken %5,7'si COVID-19 sebebiyle hayatlarını kaybetmişlerdir.

Tablo 1. Hayatta kalma durumunu etkileyen faktörler

Parametreler	Hayatta kalan (n=2148)	Hayatını kaybeden (n=130)	p-değeri
Cinsiyet n(%)			
Kadın	1074(50)	45 (34,6)	0,001*
Erkek	1074(50)	85 (65,4)	
Yaş n(%)			
18-35	412(19,2)	3(2,3)	0,000*
36-50	315(14,7)	4(3,1)	
51-65	528(24,6)	16(12,3)	
66-80	677(31,5)	58(44,6)	
80+	216(10,1)	49(37,7)	
Hastaneye İlk Geliş Durumu n(%)			
Acil	1877(87,4)	118 (90,8)	0,336
Normal	271(12,6)	12(9,2)	
Sağlık Güvencesi n(%)			
Emekli Sandığı	504(23,5)	23(17,7)	0,035*
SSK	1250(58,2)	70(53,8)	
Bağ-Kur	266(12,4)	22(16,9)	
Yeşil Kart	106(4,9)	12(9,2)	
İsteğe Bağlı	22(1,0)	3(2,3)	
Hastanede Yatılı Kaldığı Süre n(%)			
1-3 Gün	784 (36,5)	23 (17,7)	0,000*
4-7 Gün	764 (35,6)	26 (20)	
8-15 Gün	529 (24,6)	40 (30,8)	
16-21 Gün	44 (2)	25 (19,2)	
21+ Gün	27 (1,3)	16 (12,3)	

p* < 0,05

Tablo 1'e bakıldığında; COVID-19 hastalığı sebebiyle hayatını kaybeden erkeklerin oranı kadınlara göre daha fazladır ve bu durum istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0,05). Hayatını kaybeden hastaların yaş ortalaması 74,59 iken yaşayanların yaş ortalaması 57,31'dir. Hastaların yaşları arttıkça ölüm oranlarının arttığı %95 güvenlilikle test edilmiştir (p<0,05). Hastanede yatılı olarak tedavi görme süreleri hayatını kaybeden ve yaşayan hastalarda farklılık göstermektedir (p<0,05). Hastaların hastanede yatılı olarak tedavi gördükleri sürenin medyan değeri; hayatını kaybeden hastalarda 10,5 iken yaşayan hastalarda 5 tir. GSS kanununun yürürlüğe girmesi ile sağlık güvenceleri tek bir yerde toplanmasına rağmen hastane sisteminde hastaların sağlık güvence sistemi BAĞKUR, SSK, Emekli Sandığı, Yeşil Kart ve Sigortasız olarak sınıflandırılmıştır. Böylece sağlık güvence sistemlerinin hastaların hayatta kalma durumlarını etkilediği görülmüştür. Hastaların ilk hastaneye geldikleri anda acil veya normal vaka olması durumlarının hastanın yaşama durumu üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir (p>0,05).

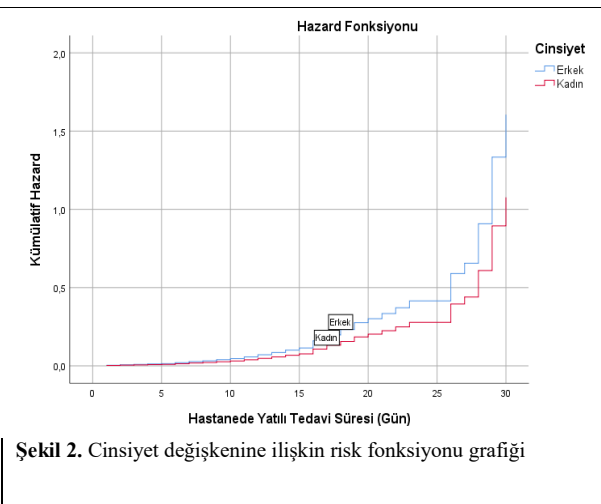
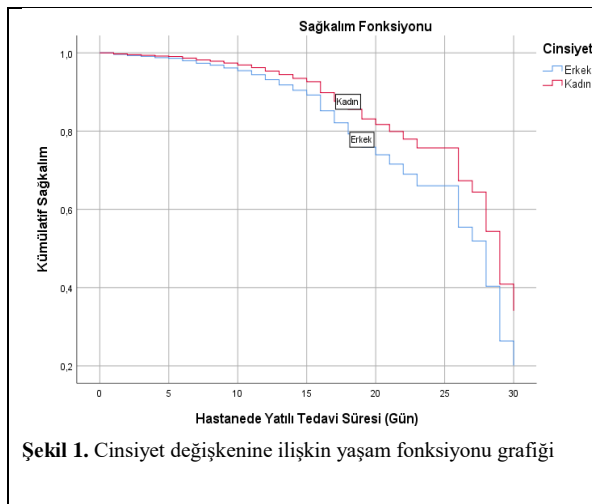
Ayrıca yaşam analizi kapsamında yaş, cinsiyet, hastaneye geliş durumu ve sağlık güvence sisteminin hastanede yatılı olarak tedavi görme süresi üzerinde yaşam olasılıkları arasında fark olup olmadığı Log-Rank testi ile test edilmiş ve sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

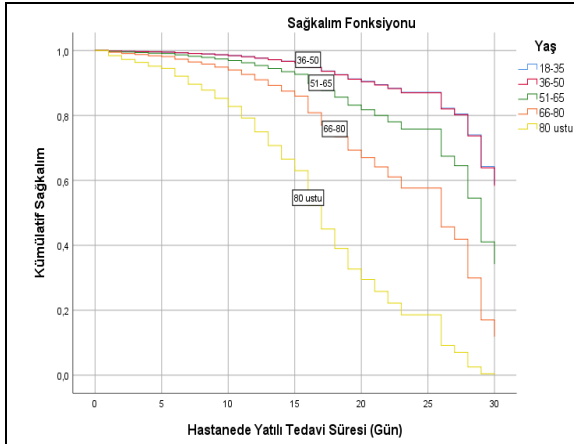
Tablo 2. Hastanede Yatılı Olarak Tedavi Görme süresini etkileyen faktörler

	Ortalama Yatılı Tedavi Görme Süresi		%95 Güven Aralığı		Log-Rank (Ki-Kare)	p-değeri
	Tahmin	Standart Hata	Alt Sınır	Üst Sınır		
Cinsiyet						
Erkek	6,815	,181	6,459	7,170	10,793	0,001*
Kadın	6,056	,159	5,744	6,368		
Yaş					191,240	0,000*
18-35	3,976	,180	3,624	4,329		
36-50	5,203	,255	4,704	5,702		
51-65	6,545	,233	6,089	7,001		
66-80	7,660	,241	7,187	8,132		
>80	8,357	,425	7,524	9,190		
Hastaneye İlk Geliş Durumu						
Acil	6,452	,129	6,199	6,706	0,023	0,88
Normal	6,400	,363	5,689	7,111		
Sağlık Güvencesi						
Bağ-Kur	7,258	,375	6,524	7,992	8,125	0,048*
Sigortasız	5,780	1,339	3,156	8,404		
SSK	6,407	,158	6,098	6,716		
Emekli Sandığı	6,061	,240	5,591	6,530		
Yeşil Kart	6,743	,553	5,659	7,827		
Genel	6,446	,122	6,207	6,685		

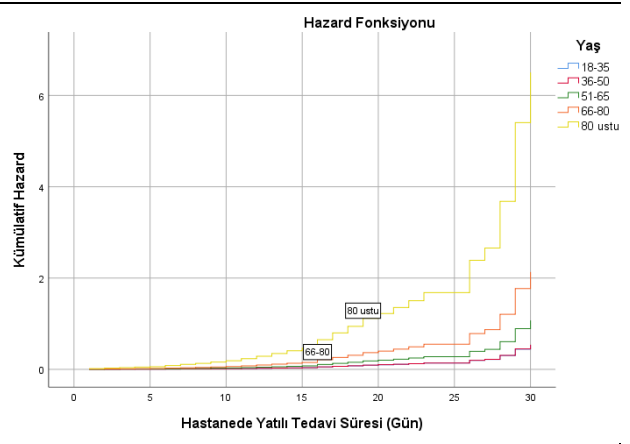
p* < 0,05

Tablo 2’de COVID-19 hastalarının cinsiyete, yaşa ve sağlık güvence sistemi türüne göre yaşam olasılıkları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık var iken, hastaneye ilk geliş durumuna göre yaşam olasılıkları arasında anlamlı bir farklılık görülmemiştir. Hastanede erkekler kadınlara göre daha uzun süre yatılı olarak tedavi görmektedir. Hastaların yaşları arttıkça hastanede yatılı olarak tedavi görme süreleri artmaktadır. Sağlık güvence sisteminde ise sigortasız hastalar en kısa yatılı tedavi süresine sahip iken en yüksek yatılı tedavi süresi Bağ-Kur’lu hastalarda gözlenmiştir.

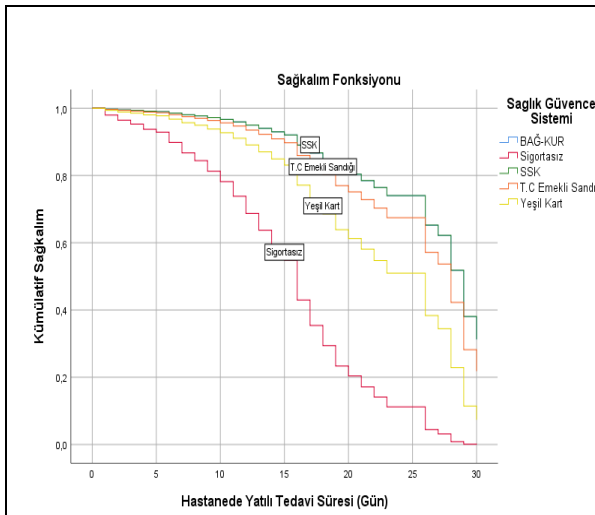




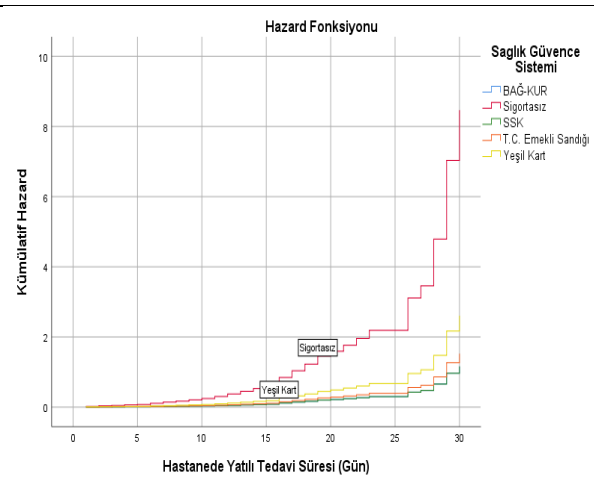
Şekil 3. Yaş gruplarına ilişkin yaşam fonksiyonu grafiği



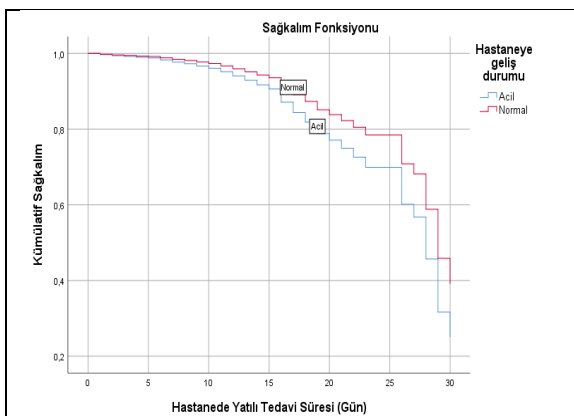
Şekil 4. Yaş gruplarına ilişkin risk fonksiyonu grafiği



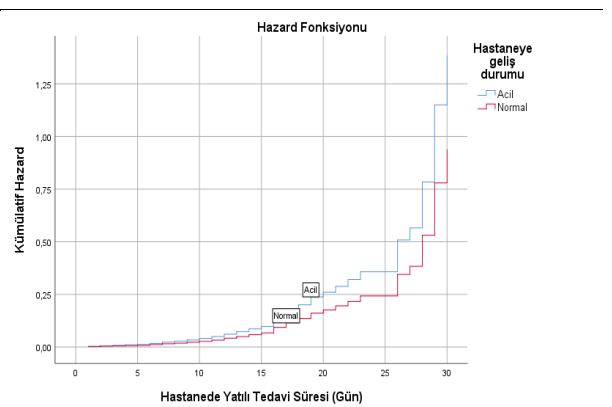
Şekil 5. Sağlık Güvence Sistemine ilişkin yaşam fonksiyonu grafiği



Şekil 6. Sağlık Güvence Sistemine ilişkin risk fonksiyonu grafiği



Şekil 7. Hastaneye Geliş Durumuna ilişkin yaşam fonksiyonu grafiği



Şekil 8. Hastaneye Geliş Durumuna ilişkin risk fonksiyonu grafiği

Hastanede tedavi olma süresi dikkate alındığında, bağımsız değişkenlere ilişkin yaşam ve hazard fonksiyonları için elde edilen grafikler, Kaplan-Meier yaşam analizi yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bu

bağlamda, cinsiyet kategorik değişkenine ilişkin çizilen yaşam fonksiyonu grafiği Şekil 1 ile erkeklere oranla kadınların yaşam olasılığının daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 2 ile gösterilen hazard fonksiyonu grafiğinde ise erkeklerin kadınlara göre ölüm risklerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 3 ile COVID-19 hastalarının yaşları dikkate alındığında çizilen yaşam fonksiyonunda, yaş arttıkça hastaların yaşam olasılığı azalmaktadır. Şekil 4. ile özellikle 65 yaş üstü bireylerin ölüm riskleri daha genç hastalara kıyasla oldukça yüksek çıkmıştır. Şekil 5 ile hastaneye başvuran hastaların sağlık güvence sistemleri dikkate alındığında çizilen yaşam fonksiyonunda, özellikle sigortasız olan ve yeşil kartlı olan hastaların yaşam olasılıklarının, BAĞ-KUR, Emekli sandığı ve SSK'lı olan hastalara göre daha az olduğu görülmektedir. ve Şekil 6 ile de sigortasız ve Yeşil kartlı hastaların riskleri diğer sağlık güvence sistemlerine kıyasla daha fazladır. Hastaların hastaneye “acil” ve “normal” olarak gelme durumları istatistiksel olarak anlamlı olmasa da Şekil 7 ile “normal” olarak gelen hastaların yaşam olasılığının daha fazla olduğu, Şekil 8. ile de “acil” olarak hastaneye gelen hastaların risklerinin “normal” olarak gelen hastalara göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Hastanede yatılı olarak tedavi gören COVID-19 hastalarının yaşam süreleri üzerinde etkili olabilecek faktörlerin belirlenmesi amacıyla normallik varsayımına ihtiyaç duyulmayan ve orantılı hazard varsayımının sağlanması ile Cox regresyon analizi uygulanmıştır.

Yılmaz vd. (2013) çalışmasında olduğu gibi orantılı hazard varsayımı için $g(t) = t$ olarak alındığında $g(t)$ çarpım teriminin modele eklenmesi ile test edilmiş ve modelin anlamlılığı için bulunan değerler Tablo 3'te verilmiştir [18].

Tablo 3. Zamana bağlı değişkenlerin anlamlılığı için model sonuçları

Değişken	Tahmin	Standart Hata	p-değeri
Yaş $\times t$	0,033	0,035	0,651
Cinsiyet $\times t$	0,021	0,032	0,785
Hastaneye ilk geliş durumu $\times t$	0,054	0,011	0,076
Sağlık Güvence Sistemi $\times t$	0,018	0,017	0,234

Zamana bağlı değişkenlerin anlamlılığı için oluşturulan Tablo 3 incelendiğinde tüm değişkenler için $p > 0,05$ olduğundan orantılı hazard varsayımının sağlandığı söylenebilir.

Orantılı hazard varsayımının sınanması için diğer bir yöntem olan Schoenfeld artık testi yapılmış ve testin sonuçları Tablo 4'de verilmiştir. Bağımsız değişkenler için Schoenfeld artıkklarının anlamlılığı $p > 0,05$ olduğundan orantılı hazard varsayımının sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 4. COVID hastaları için Schoenfeld artıkkları yöntemi sonuçları

Değişken	rho	Chi2	p-değeri
Yaş	0,273	0,123	0,2742
Cinsiyet	0,120	0,032	0,1420
Hastaneye ilk geliş durumu	0,074	0,024	0,1231
Sağlık Güvence Sistemi	0,096	0,078	0,2200

Çalışmada, hastaların hastaneye yatış yaptığı tarihten, hastaneden taburcu olduğu tarihe kadar geçen süre (gün olarak) yaşam süresi olarak alınmıştır. Hastanın yaşamını kaybetmesi başarısızlık olarak ifade edilmiştir. Sağlıklı bir şekilde hastaneden taburcu olan hastalar durdurulmuş (censored) olarak tanımlanmıştır. Hastaların izlenme süresi sona erdiğinde hastaların %5,7'si başarısızlık ve %94,3'ünde durdurma gözlenmiştir. Cox regresyon modeli için; cinsiyet (Erkek=1, Kadın=2), yaş (18-35=1, 36-50=2, 51=65=3, 66-80=4, 80+=5), sağlık güvencesi (Bağkur=1, Sigortasız=2, SSK=3, Emekli sandığı=4, Yeşilkart=5), ve hastaneye geldiğindeki sağlık durumu (acil, normal) değişkenleri çözümlenmeye alınmıştır. Bu açıklayıcı değişkenler ile kurulan Cox regresyon modeline ilişkin sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Cox Regresyon Analiz Sonuçları

	β	S. hata	Wald	S.d	p-değeri	Exp(β)	%95 GA Exp(β)	
Yaş			65,987	4	,000*			
36-50)	,015	,774	,000	1	,985	1,015	,222	4,628
51-65	,701	,634	1,226	1	,268	2,017	,583	6,981
66-80	1,389	,600	5,366	1	,021*	4,010	1,238	12,984
80+	2,504	,604	17,214	1	,000*	12,235	3,748	39,939
Cinsiyet			4,464	1	,035*	1,491	1,029	2,159
Hastaneye ilk geliş durumu	,389	,312	1,549	1	,213	1,475	,800	2,722
Sağlık Güvence Sistemi			16,026	4	,003*			
Sigortasız	1,984	,651	9,292	1	,002*	7,269	2,030	26,024
SSK	-,002	,250	,000	1	,994	,998	,611	1,630
Emekli San.	,268	,307	,763	1	,382	1,308	,716	2,389
Yeşil Kart	,806	,366	4,862	1	,027*	2,240	1,094	4,587

Tablo 5’de açıklanan bulgular doğrultusunda, hastanede yatılı olarak görülen tedavi süresini istatistiksel olarak anlamlı biçimde etkileyen değişkenlerin; hastanın yaşı, cinsiyeti ve sağlık güvence sistemi olduğu görülmüştür. Bu değişkenlerin “p” değerleri sırasıyla 0,000, 0,035 ve 0,003’dir. Hastaneye ilk geldiğindeki sağlık durumu istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Özellikle hastaların yaşları arttıkça risk oranının arttığı görülmüştür. 18-35 yaş referans kategori olarak alındığında; 36-50 yaş için risk oranı 1,015 kat, 51-65 yaş için risk oranı 2,017 kat, 66-80 yaş olduğunda 4,010 kat ve 80 yaş ve daha fazla olduğunda ise risk oranı 12,235 kat daha fazla olmaktadır. Erkeklerin kadınlara göre risk oranı 1,491 kat fazladır. Sağlık güvence sisteminden Bağ-Kur referans kategori olarak alındığında Sosyal Sigortalar kurumu (SSK)’lı olanların risk oranı 0,998, Emekli sandığı güvencesi olanların risk oranı 1,308, Yeşil kart sahibi olanların risk oranı 2,240 iken isteğe bağlı olarak nitelendirilen sigortasız olanların risk oranı 7,269 kattır. Buna göre özellikle sigortasız olan yaşları ileri erkek hastaların COVID-19’dan daha fazla etkilendiği ortaya konulmuştur.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde COVID-19 hastalarının yatılı tedavi süreleri üzerinde etkili olan değişkenlerin belirlenmesi için Cox regresyon analizi ve Khi-kare testleri kullanılmıştır.

Hastalığın ilk olarak görüldüğü Çin’de yapılan bilimsel çalışmalarda COVID-19 nedeniyle hastanelerde yatılı olarak tedavi olma süresinin medyanı 10-13 gün olarak belirlemişlerdir. Bununla birlikte Amerika Birleşik Devletleri ve bazı Avrupa ülkelerinde hastanede yatılı olarak tedavi olma süresi Çine göre 7-8 gün daha kısadır [4]. Bu çalışmada ise 24.03.2020 ile 28.07.2021 tarihleri arasında yatılı olarak tedavi olma süresinin medyanı 5 olarak belirlenmiştir. Hayatını kaybeden hastaların hastanede tedavi olma süresinin medyanı ise 10,5 dir.

Literatürde yapılan çalışmalarda yatılı olarak tedavi olma süresinin yaşanılan bölge dahil olmak üzere hastanın yaşı, cinsiyeti, kronik hastalığının olması gibi farklı faktörlere bağlı olduğunu ortaya konulmuştur [8,19-21].

Kırıkkale Üniveristesi Hastanesinde yatılı tedavi gören COVID-19 hastalarında ise; erkeklerin kadınlara göre risklerinin daha fazla olduğu ve hastaların yaşları arttıkça özellikle 65 yaş üstü kişilerin hem hastalığa yakalanması hem de iyileşme sürelerinin arttığı tespit edilmiştir. Sağlık güvence sisteminin çeşidinin ve kapsamının da önemli olduğu özellikle sigortasız ve düşük gelir düzeyine sahip bireylerin ölüm olasılıklarının yüksek olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışma için geriye dönük kayıtlı veriler kullanıldığından hastaların yaşam olasılığı üzerinde etkisinin olabileceği düşünülür; kronik rahatsızlığın varlığı, sigara içme, beslenme alışkanlığı, kilo gibi değişkenlerin etkisi modele dahil edilememiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda bu değişkenlerin de etkisinin araştırılması ve

sağlık sigortaları için ödenen prim miktarlarının özellikle erkek hastalar için primin rizikoya olan uygunluğunun sağlanması hükmü göz önünde bulundurularak sigortalayan tarafın zarar etmemesi açısından ileri yaş erkek olan bireylerin ödeyeceği prim miktarlarının artırılması gerekebilir.

COVID-19 ile mücadelede hastane yönetimi için hastaların hastanede yatılı tedavi görme süresinin tahmin edilebilmesi ve bu süreyi etkileyen faktörlerin tespit edilmesi hastanelerin yatak kapasitelerinin ve hizmet verecek sağlık personelin yeterliliği üzerinde ve ayrıca sigortacılık açısından da hem devletin hem de özel sağlık sigortalarının zarar etmemesi için ödenen kesintiler, katkı payları ve primler üzerinde yapılacak çalışmalara ışık tutması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Boyacı, İ. (2020). Türkiye sağlık sisteminin dönüşümü (2003-13): Covid-19 pandemisi ile mücadele sürecinde sağlık reformlarına yeniden bakış.
- [2] Boydak, A. B. (2020). Türkiye’de uygulanan genel sağlık sigortasının salgın hastalıklar karşısında önemi. *Türkiye Barolar Birliği Dergisi*, 2020(150), 179-196.
- [3] Koca, F. (2020). Sağlık Bakanlığı.T.S. Koronavirüse İlişkin Son Durumu Değerlendirdi. <https://www.saglik.gov.tr/TR,63853>, (Erişim tarihi: 26 Aralık 2020).
- [4] Thai, P. Q., Son, D. T., Van, H. T. H., Minh, L. N., Hung, L. X., Van Toan, N., ... & Khoa, N. T. (2020). Factors associated with the duration of hospitalisation among COVID-19 patients in Vietnam: A survival analysis. *Epidemiology & Infection*, 148.
- [5] Sousa, G. J. B., Garces, T. S., Cestari, V. R. F., Florêncio, R. S., Moreira, T. M. M., & Pereira, M. L. D. (2020). Mortality and survival of COVID-19. *Epidemiology & Infection*, 148.
- [6] Richter, A., & Wilson, T. C. (2020). Covid-19: implications for insurer risk management and the insurability of pandemic risk. *The Geneva risk and insurance review*, 45(2), 171-199.
- [7] Atukalp, M. E. (2021) Küresel Kovid-19 Salgınının Türkiye Sağlık Sigortası Sektörüne Etkisi. *The Journal of International Scientific Researches*, 6(3), 316-322.
- [8] Çetin, Ş., Ulgen, A., Şivgin, H., & Wentian, L. İ. (2021). A study on factors impacting length of hospital stay of COVID-19 inpatients. *Journal of Contemporary Medicine*, 11(3), 396-404.
- [9] Hong, Y., Wu, X., Qu, J., Gao, Y., Chen, H., & Zhang, Z. (2020). Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 and development of a prediction model for prolonged hospital length of stay. *Annals of translational medicine*, 8(7).
- [10] Özdemir, O. (2012). Sağlık Analizi Yöntemleri–1. *İyi Klinik Uygulamalar Dergisi*, 9, 21-33.
- [11] Cox, D. R. (1972). Regression models and life- tables. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 34(2), 187-202.
- [12] Özcan, B., & Karasoy, D. (2019). Yaşam Çözümlemesinde Buckley-James Modeli. *Alphanumeric Journal*, 7(2), 485-496.
- [13] Therneau, T.M., & Grambsch, P.M. (2000). Modeling Survival Data: Extending the Cox Model, *Springer-Verlag*, New York.
- [14] Sertkaya, D., Nihal, A. T. A., & Sözer, M. T. (2005). Yaşam çözümlemesinde zamana bağlı açıklayıcı değişkenli Cox regresyon modeli. *Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası*, 58(4), 153-158.
- [15] Schoenfeld, D. (1982). Partial residuals for the proportional hazards regression model. *Biometrika*, 69(1), 239-241.
- [16] Terzi, Y., Cengiz, M. A., & Bek, Y. (2005). Cox regresyon modelinde oransal hazard varsayımının artıklarla incelenmesi ve akciğer kanseri hastaları üzerinde uygulanması. *Türkiye Klinikleri Tıp Bilimleri Dergisi*, 25(6), 770-775.
- [17] Kleinbaum, D.G., “Survival Analysis: A Self-Learning Text”, *Springer*, New York, 1996.
- [18] Yılmaz, A. E., Karasoy, D., & Eroğlu, A. (2013). Yaşam çözümlemesinde Cox orantılı tehlikeler ve orantılı odds modelleri. *İstatistikçiler Dergisi: İstatistik ve Aktüerya*, 6(2), 70-78.
- [19] Guan, W. J., Ni, Z. Y., Hu, Y., Liang, W. H., Ou, C. Q., He, J. X., ... & Zhong, N. S. (2020). Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. *New England journal of medicine*, 382(18), 1708-1720.
- [20] Wang, D., Hu, B., Hu, C., Zhu, F., Liu, X., Zhang, J., ... & Peng, Z. (2020). Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus–infected pneumonia in Wuhan, China. *Jama*, 323(11), 1061-1069.
- [21] Wu, C., Chen, X., Cai, Y., Zhou, X., Xu, S., Huang, H., ... & Song, Y. (2020). Risk factors associated with acute respiratory distress syndrome and death in patients with coronavirus disease 2019 pneumonia in Wuhan, China. *JAMA internal medicine*, 180(7), 934-943.

Araştırma Makalesi - Research Article

Seramik Enjeksiyon Kalıplama için İskelet Bağlayıcı Değişiminin Reolojik Özelliklerine Etkisi

Effect of Skeleton Binder Change on Rheological Properties for Ceramic Injection Molding

Levent Urtekin¹, Faik Yılan^{2*}, İbrahim Uslan³, Bedri Tuç⁴

Geliş / Received: 08/11/2021

Revize / Revised: 23/05/2022

Kabul / Accepted: 24/05/2022

ÖZ

Toz enjeksiyon kalıplama prosesi için reoloji çalışması önemli bir yere sahiptir. Seçilen bağlayıcıların özellikleri; kalıplama, ön sinterleme ve sinterleme aşamalarını doğrudan ilgilendirmektedir. Besleme stokuna eklenen bağlayıcı özelliklerinin yanı sıra bağlayıcıların (ana bağlayıcı/iskelet bağlayıcı/yağlayıcı) kullanım amacı da önemlidir. Bu çalışmada seramik enjeksiyon kalıplama süreci için su bazlı ana bağlayıcı kullanılarak akış özellikleri (reoloji) belirlenmiştir. Reoloji deneyleri hem kılcal hemde tork reometreleri ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde; polietilen glikol ana bağlayıcı ve polipropilen/polietilen iskelet bağlayıcı kullanılarak farklı karışım oranlarında hazırlanan besleme stokları ile gerçekleştirilmiştir. Ana bağlayıcı değiştirilmeden (PEG4000), iskelet bağlayıcı olarak ise iki farklı (PP/PE) bağlayıcı kullanılmıştır. Buna bağlı olarak viskozite, kayma hızı, sıcaklık ve erime davranış indeksleri tespit edilmiştir. Deney sonucunda her iki besleme stoku için kritik toz yüklemesinin hacimce %56 oranında olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler-Besleme Stoku, Seramik Enjeksiyon Kalıplama, Reoloji

ABSTRACT

Rheological characterization plays an important role in powder injection molding. Properties of the selected binders are related directly to the molding, pre-sintering and sintering stages. Besides the residual binding properties of the feedstock, the intended use of the binder (main binder/skeleton binder/lubricant) is also important. In this work, the flow properties of feedstock have been determined with the inclusion of a water-based main binder throughout the injection molding process of a studied ceramic composition. Rheology experiments have been carried out with both capillary and torque rheometers. In the experiments, polyethylene glycol main binder and polypropylene/polyethylene skeleton without changing the main binder (PEG4000), two different binders (PP / PE) were used as skeleton binders. Accordingly, viscosity, shear rate, temperature and melting behavior indexes were determined. In the experiment, it was determined that the critical powder volume concentration for both feedstocks was 56%.

Keywords- Feedstock, Ceramic Injection Molding, Rheology

¹İletişim: levent.urtekin@ahievran.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-4348-4749>)

Makine Mühendisliği Bölümü, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kırşehir, Türkiye

^{2*}Sorumlu yazar iletişim: faik.yilan@ahievran.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7166-8604>)

Makine Mühendisliği Bölümü, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kırşehir, Türkiye

³İletişim: iuslan@gazi.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-1486-4865>)

Makine Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ankara, Türkiye

⁴İletişim: betunc@baskent.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-0658-2251>)

Makine Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ankara, Türkiye

I. GİRİŞ

Toz enjeksiyon kalıplama (TEK), küçük, karmaşık ve hassas parçaların yüksek hacimli üretiminde uygun maliyetli tekniktir [1]. Bu işlem geleneksel toz teknolojisi ve plastik enjeksiyon kalıplamanın birleşimidir. Bu teknolojide metal veya seramik tozlarının kullanılmasına bağlı olarak genellikle metal enjeksiyon kalıplama (MIM) veya seramik enjeksiyonlu kalıplama (CIM) olarak adlandırılır [2]. CIM işlemleri genellikle dört aşamada meydana gelir bunlar sırasıyla; taneleme, enjeksiyon kalıplama, bağlayıcı giderme ve sinterleme işlemleridir [3,4]. Bu işlemler kullanılan bağlayıcının türüne bağlıdır [5]. Enjeksiyon kalıplama sırasında oluşan kusurlar üçüncü ve dördüncü adımda giderilemez [4]. Bu nedenle, nihai parçadan beklenen üstün özellikler uygun bir bağlayıcı sistemi seçimine bağlıdır [6]. Toz Enjeksiyon kalıplama (TEK) süreçlerinde genellikle yüksek basınç uygulanır ve bağlayıcı sistemi çok kritik öneme sahiptir [7]. Bağlayıcılar, bir beslenme stoğunun reolojik özelliklerini kontrol etmede kilit rol oynar ve ortaya çıkan hammaddenin hatasız olarak enjeksiyonla kalıplanması, ayrılması ve sinterlenmesine etki eder [8]. Uygun bir bağlayıcı sistemi için besleme stoku genelde en az üç farklı bileşenden oluşur ki bunlar sırasıyla ana bağlayıcı, iskelet bağlayıcı ve yağlayıcıdır [9]. İyi bir bağlayıcı sistem; iyi akış özelliklerine sahip, nispeten düşük maliyetli, metal tozları ile iyi etkileşim sağlayan, kolay giderilebilen ve çevreye zarar vermeyen sistemlerdir [10]. Örneğin bağlayıcının kalıplama sıcaklığında düşük viskoziteye ve soğuma esnasında ise hızlı viskozite değişimine sahip olmalıdır. Ayrıca kalıplama sırasında toza yapışması gerekir [11]. TEK için; toz ve bağlayıcı homojen karışabilir ve istenen reolojik özelliklere sahip olmalıdır. Bu nedenle uygun karıştırma koşullarının belirlenmesi gerekir [12]. Reolojik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan tork reometre beslenme stoğundaki bileşenlerin karıştırma aşamasında ve karışım homojenliğinin değerlendirilmesinde tercih edilmektedir. Ayrıca, bir besleme stoğu için uygun ve kritik katı yüklenmesini belirlemek için oldukça faydalıdır [13,14]. Aktivasyon enerjisi, sıcaklığın viskozite üzerindeki güçlü etkisini gösterir. Bu nedenle, TEK sırasında sıcaklıktaki küçük bir değişiklik besleme stokunda önemli bir viskozite değişikliğine neden olmaktadır [15]. Enjeksiyon kalıplama sırasında, besleme stoku 106 s^{-1} 'e varan son derece yüksek kayma hızlarına maruz kalır ve bu durum toz bağlayıcı ayrışmasına veya homojen olmayan bağlayıcı karışımına yol açabilir [16]. Bu sebeple seramik parçanın anizotropik büzülmesini ve nihai parçada çatlakları, gözenekliliği veya bozulmaları önlemek için toz/bağlayıcı karışımın homojen dağılımı sağlanmalıdır [16,17]. CIM akış özellikleri, ürünün ve proseslerin kalitesini etkilediğinden, hammadde reolojisinin belirlenmesi önemlidir. Akışkanın davranışı Newton ve Newton olmayan olabilir. Newton akışkanlarının viskozitesi, malzeme, sıcaklık ve basınçtan etkilenirken kesme hızı ve kesme gerilmesinden bağımsızdır. Oysaki akış koşulları Newton olmayan akışkanların viskozitesini etkiler. Newton tipi olmayan akışkanların üç çeşittir: zamandan bağımsız, zamana bağımlı ve viskoelastik akışkanlardır [18]. Zamandan bağımsız akışkan davranışı viskozitenin kayma hızıyla azaldığı psödoplastik ve viskozitenin kayma hızıyla arttığı dilatant (kayma kalınlaşması) olarak gruplandırılır [19]. Bunun için kayma hızı artarken viskozitenin azalması yani akış tipinin psödoplastik akış davranışı sergilemesi önemlidir. CIM'da beslenme stoğu normalde 1'den küçük bir akış indeksi (n) sahiptir ve psödoplastik akışkan gibi davranır. Çünkü psödoplastik akışkanlar kalıpları doldurmada, enjeksiyon izlerinin azaltılmasında ve farklı bileşenlerin şekillerini korumada daha iyi performans gösterir [20]. Aynı zamanda polimer-toz karışım viskozitenin 1000 Pa·s altında sahip olmasını sağlamaktır [4,21].

Bilimsel literatürde, beslenme stoğuna belirli oranlarda bağlayıcıların karıştırılması sonucunda reolojik ve homojen beslenme stoklarının optimum değerleri üzerine bir çok çalışma incelenmiştir. Tipik bir besleme stokunda yüksek yoğunluklu polietilen glikol (PEG) ana bağlayıcı, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polivinil butiril (PVB) iskelet bağlayıcı ve stearik asit (SA) ise yağlayıcı olarak 180 °C'de 5 dakika ve ardından 160 °C'de 10 dakika karıştırılarak granül haline getirilmiştir [12]. Krauss ve ark. (2005) 180 °C'de 30 dakika boyunca sigma tipi bıçaklı bir karıştırıcıda alümina tozunu PEG, PVB ve SA oluşan bir bağlayıcı sistemi ile karıştırarak reolojik özelliklerin iyileştirildiğini ve homojen bir besleme stoku hacimce %55 alümina tozu içermesi ile elde edildiğini tespit etmişlerdir [19]. Weil ve ark. (2006) 90 °C'de belirsiz bir sürede naftalin, etilen vinil asetat ve stearik asit ile aromatik bazlı bağlayıcı sistemini Ti-6Al-4V tozu ile karıştırmışlardır. Çalışmaları kapsamında reaktif metal bazlı TEK için homojen beslenme stoğu için optimum yüklenme değeri hacimce %65 olarak belirlenmiştir [22]. Amin ve ark. (2009) 70 °C'de 60 dakika ardından 30 dakika oda sıcaklığında Z-bıçak tipi bir karıştırıcıda PEG, polimetil metakril (PMMA) ve SA'dan oluşan bir bağlayıcı sistemle paslanmaz çelik tozunu karıştırarak en iyi reolojik özellik ve homojen beslenme stoğu hacimce %64 olarak tespit edilmiştir [23]. Sulong ve ark. (2012) paslanmaz çelik 316L tozu için hacimce %73 PEG, %25 PMMA ve hacimce %2 SA'dan oluşan bir bağlayıcı kullanıldığında kalıp sıcaklığının ve tutma süresinin sırasıyla dayanıklılık ve yüzey kalitesi üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır [24]. Başka bir çalışmada, hibrit-dehibrit (HDH) titanyum Ti-6Al-4V alaşım tozunu PEG bazlı suda çözünür bağlayıcı sistemi ile karıştırılmasıyla optimum beslenme stoğu

hacimce %60 alaşım tozu, %32 PEG, %6 polivinil butiril ve %2 SA içermesi ile titanyum enjeksiyon kalıplama için en uygun sonuç olarak bildirilmiştir [25]. Titanyum MIM parçaları, Ti_6Al_4V alaşım tozu ile (12.8, 51.8 ve 117.7 μm ile sırasıyla d_{10} , d_{50} , ve d_{90}) ve çeşitli polietilen glikol-polivinil butiral(PEG-PVB) bazlı bağlayıcı sistemler üretilmiştir. En iyi ayrıştırma özellikleri ve tek tip partikülden oluşan parçalar 4 saatlik 35 °C’de veya 3 saatlik 45 °C için çözücü ayrıştırılarak %60 Ti_6Al_4V ve hacimce %80:15:5 PEG:PVB:SA bağlayıcı ile elde edilmiştir [26]. AISI 4605 düşük alaşımlı çeliklerin bağlayıcı sistemleri üzerine uyumluluğu ilk kez araştırılarak çok çeşitli mum bazlı bağlayıcı sistemi ile çeşitli toz yüklemelerinde (%53-61 hacim) birleştirilmesiyle incelenmiştir. Besleme stokunun kritik katı yüklemesinin hacimce %58 civarında olduğu tespit edilmiştir [27].

Literatürden anlaşıldığı üzere toz enjeksiyon kalıplama için bağlayıcı sistemi önemli bir etken olup reolojik özellikleri doğrudan etkilemektedir. Bağlayıcı sistemindeki değişiklik ve oransal değişimin akma davranımı üzerindeki etkilerinin reolojik sonuçları üzerinden belirlemektedir. Reoloji çalışması sağlıklı olarak yapılan bir enjeksiyon kalıplama süreci sorunsuz tamamlanabilmektedir. Aksi durumda kalıplamadan bağlayıcı giderme ve sinterleme sürecine kadar çeşitli sorunlar ile karşılaşmak kaçınılmazdır. Bu çalışmada ise su bazlı (PEG4000) ana bağlayıcı sabit, iskelet bağlayıcı ise değiştirilerek hacimce aynı toz yüklemeleri için reolojik etkileri üzerinde bir araştırma yapılmıştır. İki farklı reometre cihazı ile viskozite, kayma hızı, erime hacim indeksi ve erime davranış indeksleri belirlenmiştir.

II. DENEYSEL YÖNTEM

Bu deneysel çalışmada, Kale Seramiş A.Ş. tarafından temin edilen C221 seramik tozu (steatit) tercih edilmiştir. Bu toz mükemmel yalıtıncılığa, üstün mekanik dayanımı, iyi aşınma ve oksidasyon direncine sahip su geçirmez seramiktir. Ayrıca deneyde kullanılan SA yaygın olarak bağlayıcının toz partiküllerini ıslatmasına yardımcı olan ve akışı destekleyen bir yüzey aktif maddedir. Tablo 1’de tozun kimyasal kompozisyonu gösterilmiştir.

Tablo 1. C221 tozu kompozisyonu (Ağırlıkça %) [28]

SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O ₃ +K ₂ O	Kızdırma kaybı
60	30	2,5	1	1,5	0,5	4,5

Steatit tozları ilk olarak hava ortamında belirli bir sürede öğütülmüş olup akabinde 2 saat alümina bilyalar yardımıyla öğütülmüştür. Başlangıçta ortalama tane boyutu 12,15 μm iken, ortalama tane boyutu 3,96 μm ’ye azalmıştır. Ortalama tane boyutu dağılımı Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Süleyman Sarıtaş Toz Metalurjisi laboratuvarında bulunan lazer kırınımlı toz boyutu ölçme cihazı ile belirlenmiştir. Tablo 2’de öğütülen seramik tozunun ortalama boyutu ile hacimce %10 ile %90’ının küçük olduğu boyutlar sunulmaktadır.

Tablo 2. Deneylerde kullanılan seramik tozunun ortalama tane boyutu ve birikimli boyut değerleri

d_{50} , μm	d_{10} , μm	d_{90} , μm
3,96	0,74	15,62

Bu çalışmada, üç boyutlu karıştırıcı kullanılarak bağlayıcılar ağırlıkça belirli oranlarda yaklaşık 45 dk. karıştırılmıştır. Bu süre karışımın homojen olması için yeterlidir. Sonrasında bağlayıcılar ile steatit tozları aynı koşullarda karıştırılarak ekstürder cihazına konulmuştur. Taneleme işlemi 150-180°C sıcaklık aralığında bağlayıcıların herhangi bir bozunmasına neden olmadan ekstürder cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 3’te bağlayıcıların ağırlıkça % karışımları ve hacimce besleme stoğu için yükleme aralığı gösterilmektedir. Bu amaçla 5 farklı bağlayıcı bileşimi kullanılmıştır. Bağlayıcıyı oluşturan unsurlar yüksek yoğunluklu polipropilen/polietilen (PP/PE), stearik asit (SA) yağlayıcı ve ana bağlayıcı olarak ise PEG 4000 su ile çözünen bağlayıcılar belirlenmiş olup, 4000 molekül ağırlıklarıyla ilgili değerlerdir. Bu değerler ortalama molekül ağırlığına sahip malzemelerdir ve farklı molekül ağırlığına sahip malzemeler reolojik açıdan farklı özellikler gösterirler. Tablo 4’te çalışmalarda kullanılan bağlayıcıların özellikleri verilmiştir.

Tablo 3. Beslenme stoku, bağlayıcıların ağırlıkça % oranları ve hacimce yükleme aralıkları [29]

Besleme stoku	Seramik toz	%65	%30	%5	Hacimsel yükleme aralığı, %
F1	Steatit	PEG4000	PP	SA	50-56
F2	Steatit	PEG4000	PE	SA	50-56

Tablo 4. Deneysel çalışmada kullanılan bağlayıcıların fiziksel özellikleri [29]

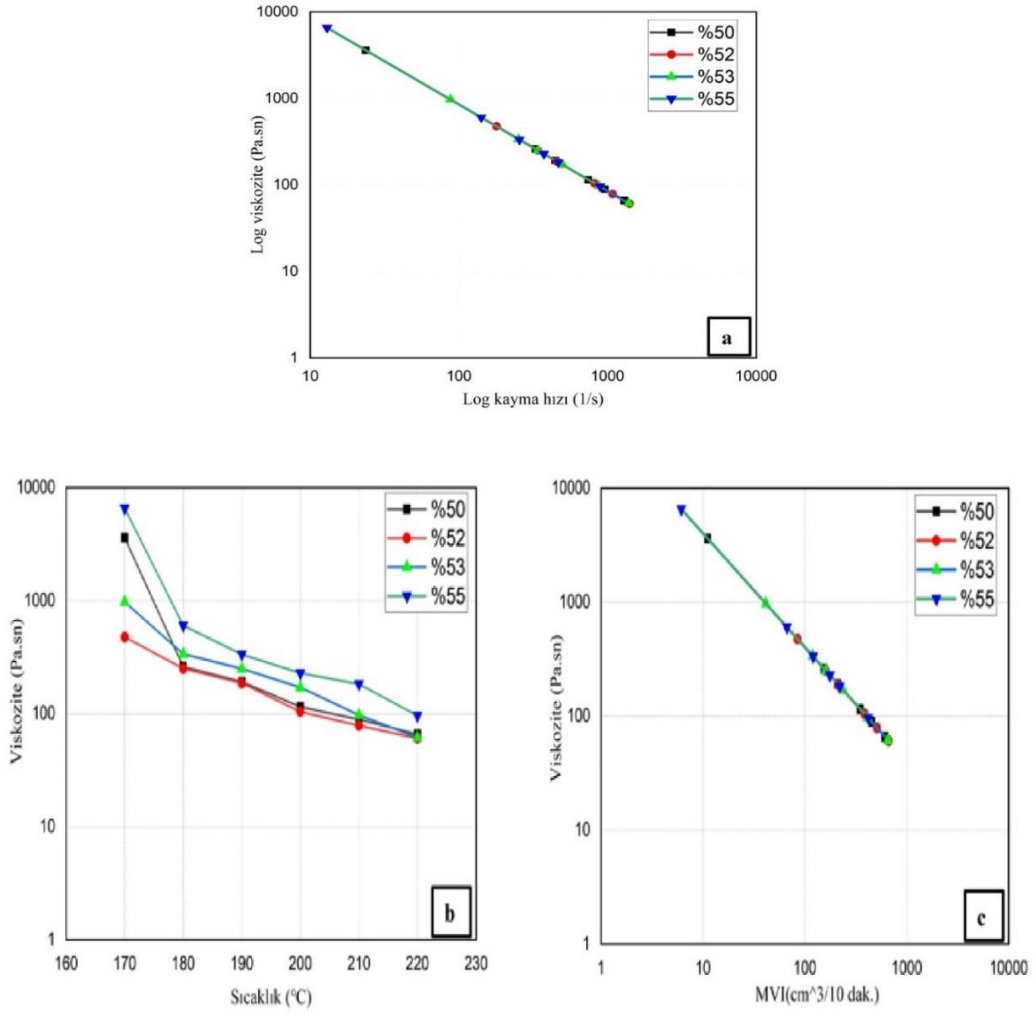
Özellikler	PEG4000	PE	PP	SA
Temin Edilen Yer	Merck Co	Petkim A.Ş.	Petkim A.Ş.	Merck Co
Yoğunluk ($\frac{g}{cm^3}$)	1,212	0,91	0,85	0,94
Erime Sıcaklığı (°C)	60-63	137	189	68-70
Bozulma Başlangıç Sıcaklığı (°C)	300	-	-	395
Suda Çözünürlük	Çözünür	Çözünmez	Çözünmez	Çözünmez

Reoloji deneyleri ASTM D 1238 ve TS 1675 [29] standartlarına uygun olarak Protherm marka reometre cihazı (capillary rheometer) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu cihazın özellikleri; silindir uzunluğu 115 mm, iç çapı 10 mm, piston boyu 6,35 mm, kalıp uzunluğu 8 mm ve çapı 2 mm'dir. Deneylere başlamadan önce cihaz ilk olarak temizlenmiştir. Sonrasında silindir ve piston sıcaklığı 15 dk. süre ile 190 °C'de sabit tutularak deney esnasında sıcaklık değerinde değişim olmaması sağlanmıştır. Numune yerleştirilmesinden 8 dk. sonra besleme stoğu ekstrüde etmek için, piston üstüne yük konulmuştur. Silindire yerleştirilen numuneler belirli süre sonra ilk akan kısımlar ve içinde oluşan hava kabarcıkları uzaklaştırılır. Akabinde uygun kesimler (en az üç tane) sırasıyla mg duyarlılıkta tartılır ve ortalama bir ağırlık belirlenir. En büyük ve en küçük değerler arasındaki fark, ortalama ağırlığın %10'nundan fazla ise deney sonuçları ihmal edilmiştir ve yeni numuneler ile deneyler tekrar edilmiştir. Reometre deneyleri ile besleme stokunun enjeksiyon kalıplama davranışı ve akış özellikleri hakkında ön veriler elde edilmiştir ki bunlar sıcaklığa ve basınca bağlı olarak değişen kayma hızı, viskozite ve erime hacim indeksi (MVI) değerleridir. MVI malzemelerin akış özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemdir. Bu çalışmada besleme stokları için basit bir viskozite ölçüsüdür. MVI, belirli bir sıcaklıkta öncesinde belirlenen bir basınç altında erimiş besleme stoğunun kılcal bir borudan akma kolaylığını gösterir. Bu çalışmada 10 dakikada akan besleme stoğunun cm^3 olarak karşılığıdır. Bir diğer reoloji çalışması olan tork reometre deneyi her bir bağlayıcı için optimum toz yükleme değerinde (hacim%55) yapılmıştır. Tork tipi reometre deneyleri Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya bölümü laboratuvarlarında bulunan Thermo-Haake RS600 Paralel Plate Rheometer marka cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde F1 ve F2 besleme stoklarının erime davranış indeksleri belirlenmiştir.

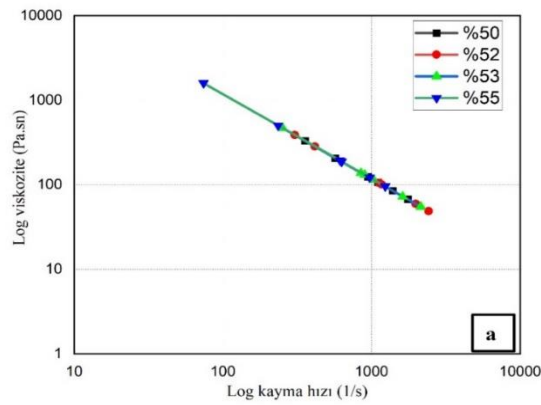
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

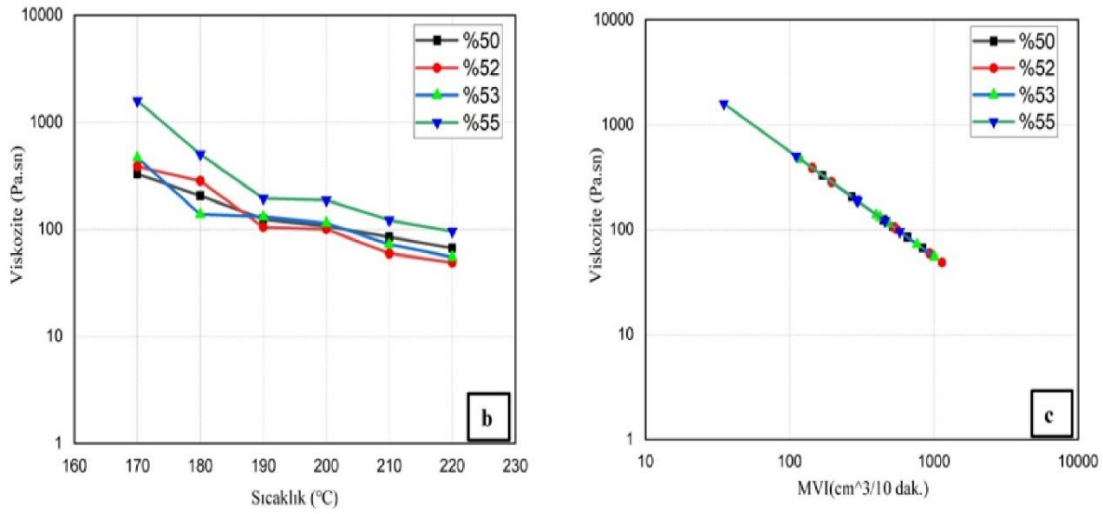
A. F1 Besleme Stok Reoloji Bulguları

PEG4000/PP/SA bağlayıcı sisteminden (F1 besleme stoku) oluşan karışım oranları için iki farklı basınç değerinde, 170-230 °C arası sıcaklıklarda yapılan viskozite deneylerinde elde edilen veriler Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. 1,397MPa basınç için a) log kayma hızı-log viskozite değişimi, b) Viskozite-sıcaklık değişimi, c) Viskozite-MVI değişimi



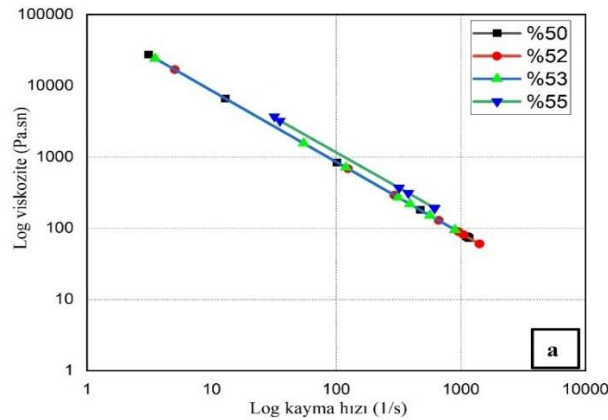


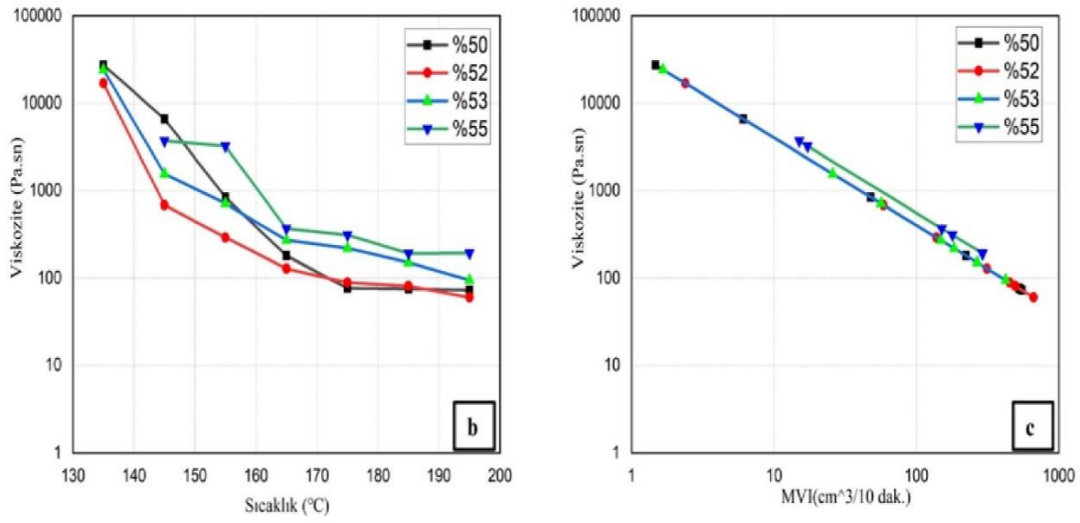
Şekil 2. 1,891 MPa basınç için a) log kayma hızı-log viskozite değişimi, b) Viskozite-sıcaklık değişimi, c) Viskozite-MVI değişimi

Reolojik özellikler, kalıplama aşamasında yüksek sıcaklıkta beslenme stoğu hakkında bilgi verir. Ayrıca kalıplama aşamasında olası hataları tahmin etmek için kullanılabilirler. Bu nedenle, reolojik özellikleri test ederek beslenme stoğunun homojenliğini değerlendirmek yaygındır. 170-230 °C aralığında farklı bağlayıcı bileşimlerine sahip beslenme stoğunun reolojik özelliklerini gösterir. PEG bağlayıcı sistemli beslenme stoklarının viskoziteleri küçüktür. Bu durumda iyi bir akışkanlık özelliği gösterir ve viskozite hem sıcaklık hem de kayma hızının artması ile azalmıştır. Şekil 1 ve 2 incelendiğinde; hacimce % 50 toz yüklemelerinde viskozite değeri 261-50 Pa.s arasında, kayma hızı ise 1766,9-326 s⁻¹ aralığında değişmiştir. Hacimce %55 toz yüklemelerinde ise viskozite 603-76 Pa.s aralığında, kayma hızı ise 1236,06-141 s⁻¹ aralığında değişmiştir. Akış tipi psödoplastik olup kayma hızı arttıkça viskozite azalmıştır. Bu durum, kalıplama aşamasında seramik tozu ile bağlayıcının ayrılma olasılığını azaltır. Hacimce %52-53-55 toz yüklemelerinde viskozite değerleri kalıplama için uygundur. Hacimce %56 toz yüklemesinde akış gerçekleşmemiştir.

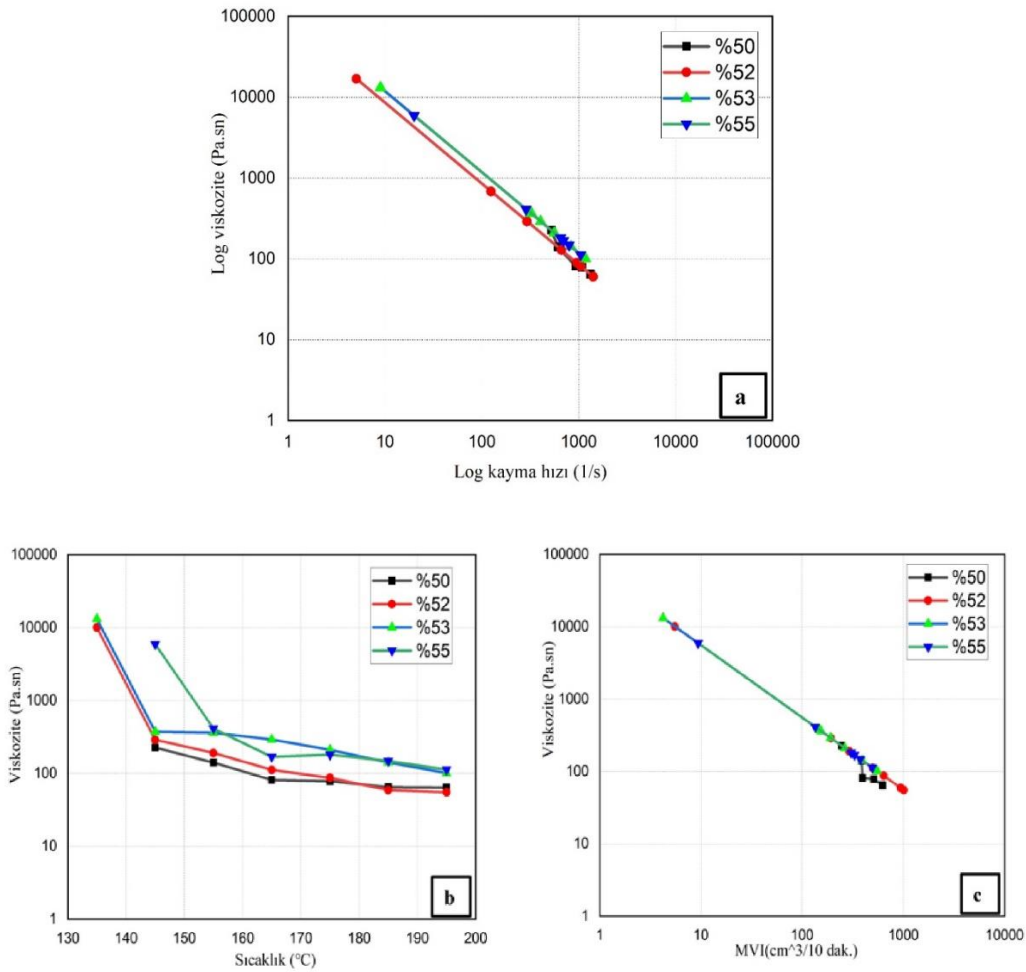
B. F2 Besleme Stok Reoloji Bulguları

PEG4000/PE/SA bağlayıcı sisteminden (F2 besleme stoku) oluşan karışım oranları için iki farklı basınç değerinde, 135-195 °C arası sıcaklıklarda yapılan viskozite deneylerde elde edilen veriler Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir.





Şekil 3. 1,397MPa basınç için a) log kayma hızı-log viskozite değişimi, b) Viskozite-sıcaklık değişimi, c) Viskozite-MVI değişimi



Şekil 4. 1,891MPa basınç için a) log kayma hızı-log viskozite değişimi, b) Viskozite-sıcaklık değişimi, c) Viskozite-MVI değişimi

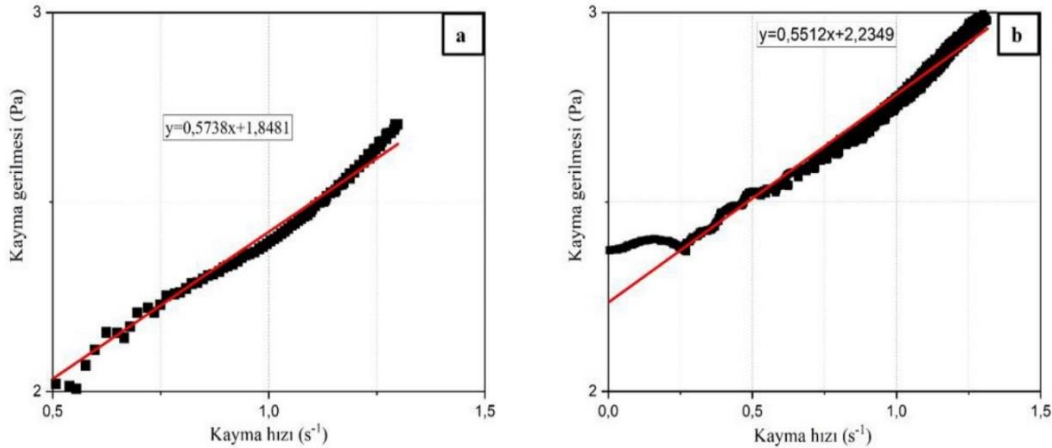
Şekil 3 ve 4 incelendiğinde; hacimce %50 toz yüklemesinde viskozite değerlerinin çok düşük kaldığı ve toz bağlayıcı ayrışmasının olduğu gözlemlenmiştir. Hacimce %52-53-55 toz yüklemelerinde ise sıcaklığın 145 °C altında beklenen viskozite değerlerinin çok üstünde olduğu ve kalıplama için uygun olmadığı görülmüştür. 145 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise akış kalıplama için uygundur. Bu sıcaklığın F2 besleme stoku için iskelet bağlayıcı olan PE'nin erime sıcaklığı 137 °C ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Akış tipi Newton olmayan akış olup psödoplastiktir. Hacimce %56 toz yüklemelerinde akış gerçekleşmemiştir.

C. Tork Reometre Deney Bulguları

Literatür [28-32], incelemelerinde bağlayıcının erime sıcaklığının üzerinde, bozulma sıcaklığının ise altında enjeksiyon sıcaklığı belirlenmektedir. Bu bilgi doğrultusunda tork reometre deneyleri belirlenen sıcaklıklarda (135-195 °C, 170-230 °C) yapılmıştır. Besleme stokunun erime davranış indeksi, kayma hızı, kayma gerilmesi, viskozite değerleri elde edilmiştir. Deneylerde hacimce %55 oranı içeren besleme stokları için (F1 ve F2) yapılan tork reometre deneylerde elde edilen kayma gerilmesi-kayma hızı değişimini gösteren grafikler Şekil 5'de verilmiştir. Elde edilen doğrunun eğimi erime davranış indeksini vermektedir.

$$m = \frac{d(\log \tau_w)}{d(\log \gamma_a)} \quad (1)$$

Erime akış indeksi Denklem 1'de verilen bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır [25]. Burada m erime akış indeksi, γ_a kayma hızını (s^{-1}) ve τ_w ise kayma gerilmesini (kPa) ifade etmektedir.



Şekil 5. Hacimce %55 toz yüklemesi için kayma hızı ve kayma gerilmesi değişimi a) F1 besleme stoğu b) F2 besleme stoğu

Şekil 5 incelendiğinde her iki besleme stoku içinde erime davranış indeksi (m) 1'in altındadır. F2 besleme stokunun erime davranış indeksi F1'den küçük olmakla birlikte istenilen aralıkta olduğu görülmektedir.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, su bazlı (PEG4000) ana bağlayıcı sabit, iskelet bağlayıcı ise değiştirilerek hacimce aynı toz yüklemeleri için reolojik etkileri üzerinde bir araştırma yapılmıştır. İki farklı basınç değerinde F1 besleme stoku polipropilen (PP) bağlayıcı sisteminden oluşurken F2 besleme stoku ise Polietilen (PE) bağlayıcı sisteminden oluşturulmuştur. İki farklı reometre cihazı ile viskozite, kayma hızı, erime hacim indeksi ve erime davranış indeksleri belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Her iki iskelet bağlayıcıyı polipropilen/polietilen(PP/PE)içeren F1 ve F2 besleme stoku için optimum toz yüklemesi hacimce %55 olarak belirlenmiştir.
2. Polietilen (PE) içeren besleme stokunun viskozite ve erime davranış indeksi polipropilen (PP) içeren besleme stokuna göre daha düşük elde edilmiştir. Düşük viskozite değerleri kalıplama sırasında çeşitli hatalara neden olduğuna dikkat edilmelidir.

3. Reoloji deneyleri sıcaklığı olarak Polietilen (PE) içeren besleme stoku 190-195 °C iken Polietilen (PE) içeren besleme stoku için 200-220°C olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda F1 besleme stokunun daha düşük sıcaklıklarda kalıplanabileceği görülmüştür. Aynı zamanda iskelet bağlayıcının besleme stoku için belirleyici olduğu kanaatine varılmıştır.
4. Her iki besleme stokunun da uygun parametreler seçilmesiyle seramik enjeksiyon kalıplamada kullanılabileceği belirlenmiş olup bağlayıcı giderme süreçleri incelenerek en efektif besleme stokunun tercih edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.
5. Optimum yükleme sergileyen her iki besleme stoku içinde viskozite değeri uygun sıcaklıkta 1000 Pa.s'nin altındadır. Akış tipi newtonien olmayan akış olup, psöyoplastiktir. Kayma hızı arttıkça viskozite azalmaktadır.
6. Her iki besleme stoku için optimum toz yüklemesinde erime davranış indeksi 1'den düşüktür.

Elde edilen sonuçlar ışığında F1 ve F2 besleme stoklarının kalıplama ve akış özellikleri seramik enjeksiyon kalıplama için uygundur. F1 ve F2 besleme stoklarının birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlarının olduğu görülmekle birlikte bir çok parametreyi içeren toz enjeksiyon kalıplama sürecinin kontrollü yapılmasıyla her iki besleme stokunda üretim aşamasında kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] German, R.M. & Bose, A. (1997). *Injection Molding of Metals and Ceramics Metal Powder Industries Federation*, Princeton 10-250.
- [2] P. Thomas-Vielma, A. Cervera, B. & Levenfeld, A. (2008). *Várez Journal of the European Ceramic Society*, 28, 763-771.
- [3] Hanemann, T., & Weber, O. (2014). *Polymethylmethacrylate/polyethyleneglycol-based partially water-soluble binder system for micro ceramic injection moulding*, *Microsystem Technology*, 20, 51–58.
- [4] Subaşı M., Yılmaz O., Same, K., Safarian A., & Karataş Ç., (2020). Toz Enjeksiyon Kalıplamada 316 L Besleme Stokunun Çekme Yüzdesinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmin Edilmesi, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7 (3):1063-1073.
- [5] German, R.M. (1990). *Toz Enjeksiyon Kalıplama MPIF*, ABD. 1-225.
- [6] Weber O, & Hanemann T, (2011). Molding Compounds on partially water-soluble organic binder for production of complex shaped ceramic micro parts, *In Proceedings of the 18th International Conference on Composite Materials*, Jeju Island, South Korea.
- [7] Bleyan D, Svoboda P, & Hausnerova B, (2015). Specific interactions of low molecular weight analogues of carnaubawax and polyethyleneglycol binders of ceramic injection moulding feedstocks, *Ceram. Int.*, 41: 3975–3982.
- [8] D. Claudel, M. Sahli, T. Barriere, & J.C. Gelin. (2017). Influence of particle-size distribution and temperature on the rheological properties of highly concentrated Inconel feedstock alloy 718. *Powder Technol.*, 322, 273-289.
- [9] Park MS, Kim JK, Ahn S, & Sung HJ, (2001). Water-soluble binder of cellulose acetate butyrate/poly (ethylene glycol) blend for powder injection moulding, *J. Mater. Sci.*, 36:5531–5536.
- [10] Hwang BJ, Lin ST, Sarma LS, & Cheng MY., (2003). *Feedstock for Injection Molding*, US, 10/170464.
- [11] C.I. Chung, B.O. Rhee, M.Y. Cao, & C.X. Liu (1989). Requirements of binder for powder injection molding Advances in Powder Metallurgy Proceeding, *Powder Metallurgy Conference Exhibition*, MPIF, Princeton, NJ, USA, 67-78.
- [12] Gao Y, Huang K, Fan Z, & Xie Z, (2007). Injection molding of zirconia ceramics using watersoluble binders, *Key Eng. Mater.*, 336–338:1017–1020.
- [13] J.M. Contreras, A. Jiménez-Morales, & J.M. Torralba (2010). Experimental and theoretical methods for optimal solid loading calculation in MIM feedstocks fabricated from powders with different particle characteristics. *Powder Metall*, 53 (1). 34-40.
- [14] R. Supati, N.H. Loh, K.A. Khor, & S.B. Tor (2000) Mixing and characterization of feedstock for powder injection molding. *Mater Lett*, 46. 109-114.

- [15] Karatas C, Kocer A, Unal HI, & Saritas S, (2004). Rheological properties of feedstocks prepared with steatite powder and polyethylene-based thermoplastic binders, *J.Mater. Process. Technol.*, 2005, 152, 77–83.
- [16] Greiner A, Kauzlaric D, Korvink JG, Heldele R, & Schulz M, (2011). Simulation of micro powder injection moulding: Powder segregation and yield stress effects during form filling, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 31, 2525–2534.
- [17] Wei WCJ, Tsai SJ, & Hsu KC, (1998). Effects of mixing sequence on alumina prepared by injection molding, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 18, 1445–1451.
- [18] Chhabra, R. P. (2006). Non-Newtonian fluid behavior. In *Bubbles, Drops, and Particles in Non-Newtonian Fluids* (37-76). CRC Press.
- [19] Krauss VA, Pires EN, Klein AN, & Fredel MC, (2005). Rheological properties of alumina injection feedstocks, *Mater. Res.*, 8, 187–189.
- [20] J. Wen, W. Liu, Z. Xie, C. Lou, & X. Yang (2018). Effects of the binder compositions on the homogeneity of ceramic injection molded compacts. *Ceram. Int.*, 44, 3218-3225.
- [21] Pugh RJ, & Bergström L, (1994). Surface and Colloid Chemistry in Advanced Ceramic Processing; III. Series, *Institute for Surface Chemistry Surfactant Sciences Series*; CRC Press, Stockholm, Sweden.
- [22] K.S. Weil, E. Nyberg, & K. Simmons (2006). A new binder for powder injection molding titanium and other reactive metals *J. Mater. Process. Technol.*, 176, 205-209.
- [23] S.Y.M. Amin, K.R. Jamaludin, & N. Muhamad (2009). Rheological investigation of SS316L MIM feedstock prepared with different particle sizes and powder loadings *J. Inst. Eng. Malaysia*, 71 (2), 59-63.
- [24] Arifin, A., Sulong, A. B., & Muhamad, N. (2012). Optimizing injection parameter of metal injection molding processes using the feedstock of 16 µm stainless steel powder (SS316L), *PEG, PMMA and stearic acid. Journal of Applied Sciences Research*.
- [25] G. Thavanayagam, K.L. Pickering, J.E. Swan, & P. Cao (2015). Analysis of rheological behaviour of titanium feedstocks formulated with a water-soluble binder system for powder injection moulding. *Powder Technol.*, 269, 227-232.
- [26] Thavanayagam, G., & Swan, J. E. (2018). Aqueous debinding of polyvinyl butyral based binder system for titanium metal injection moulding. *Powder Technology*, 326, 402-410.
- [27] Askari, A., Alaei, M. H., Mehdipoor Omrani, A., Nekouee, K., & Park, S. J. (2020). Rheological and thermal characterization of AISI 4605 low-alloy steel feedstock for metal injection molding process. *Metals and Materials International*, 26(12), 1820-1829
- [28] Urtekin L, Uslan I, & Tuc B, (2012). Investigation of effect of feedstock rheologies for injection molding of steatite, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(2), 333-341.
- [29] Urtekin, L. (2008). *Toz enjeksiyon kaliplanmış steatit seramiklerin özelliklerine kaliplama ve sinterleme parametrelerinin etkisinin deneysel olarak incelenmesi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- [30] Urtekin L, Uslan I, & Tuc B, (2012). Investigation of properties of powder injection-molded steatites, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21 (3), 358-365.
- [31] Urtekin L, & Taşkın A, (2017). Ti–6Al–4V alloy cortical bone screw production by powder injection molding method, *Materials Express*, 7 (4), 245-252.
- [32] Urtekin L, Genc A, & Bozkurt F, (2019). Fabrication and simulation of feedstock for titanium powder injection molding cortical bone screws, *Materials and Technology*, 53 (5), 619-625.

Araştırma Makalesi – Research Article

Finite Element Modelling of Ultimate Strength of CFST Column and Its Comparison with Design Codes

BDÇT Kolonların Nihai Dayanımının Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi ve Tasarım Kodları ile Karşılaştırılması

Ayşegül Erdoğan¹, Esra Mete Güneysisi², Süleyman İpek^{3*}

Geliş / Received: 07/12/2021

Revize / Revised: 25/04/2022

Kabul / Accepted: 25/04/2022

ABSTRACT

Concrete-filled steel tube (CFST) members have high strength, stiffness, and ductility properties, which makes them favorable in structural applications. This study purposes to create a finite element analysis-based model for designing the peak strength of axially loaded CFSTcircular columns. To this aim, 314 test specimens presented in the previous experimental studies were investigated. In the study, the wall thickness and yield strength of steel tube, compressive strength of concrete, and column diameter and length were designated as the design parameters. In this regard, the design model created using the finite element analysis proposed in this study was evaluated comparatively with existing ones given in the existing design codes and standards such as ACI, AS, AISC, AIJ, Eurocode 4, DL/T, and CISC. Besides, the estimation performance of all design models was examined statistically as well.

Keywords-*Axial Loading, CFST Columns, Experimental Database, Finite Element Analysis, Ultimate Strength*

ÖZ

Beton dolgulu çelik tüpler (BDÇT), yüksek mukavemet, rijitlik ve süneklik özelliklerine sahiptir, bu da onları yapısal uygulamalarda avantajlı kılmaktadır. Bu çalışma, aksel yüke maruz beton dolgulu çelik tüp şeklindeki dairesel kolonların nihai dayanımını tasarlamak için bir sonlu elemanlar analiz modeli oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla, daha önceki deneysel çalışmalarda sunulan 314 test numunesi incelenmiştir. Çalışmada, çelik boru et kalınlığı ve akma dayanımı, beton basınç dayanımı ve kolon çapı ve uzunluğu tasarım parametreleri olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmada önerilen sonlu elemanlaryöntemi kullanılarak oluşturulan tasarım modeli, ACI, AS, AISC, AIJ, Eurocode 4, DL/T ve CISC gibi mevcut tasarım kodlarında verilen mevcut tasarım modelleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca tüm tasarım modellerin tahmin performansı da istatistiksel olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler-*Eksenel Yükleme, BDÇT Kolonlar, Deneysel Veri Tabanı, Sonlu Elemanlar Analizi, Nihai Dayanım*

¹Contact: aygl1988@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-8192-4675>)

Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Gaziantep University, Gaziantep, Turkey

²Contact: eguneyisi@gantep.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4598-5582>)

Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Gaziantep University, Gaziantep, Turkey

^{3*}Corresponding author contact: sipek@bingol.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-8891-949X>)

Department of Architecture, Faculty of Engineering and Architecture, Bingöl University, Bingöl, Turkey

I. INTRODUCTION

CFST members have been widely employed in modern buildings, bridges, sports stadia, towers, and offshore structures due to including high strength, stiffness, and ductility characteristics [1-3]. The ductility and strength characteristics of the CFST columns subjected to compression load are improved thanks to the efficient confinement provided to the concrete infill by the encircling steel tube. Furthermore, the presence of the infill concrete aids in the enhancement of the steel tube's local buckling response and the prevention of inward buckling. Besides, the steel tube plays a formwork role during the construction, and thus, a more economical and faster construction process is achieved [4,5]. Therefore, it can be stated that the construction of the CFST columns saves time, as the steel tube serves as a permanent formwork [6].

Many studies, both experimental and analytical, have been carried out to examine the properties, practices, and behavior of the CFST elements [7-13]. Surveying the available literature, it has been found that the steel tube with a concrete core had almost 49% higher flexural strength capacity than the steel tube without a concrete core [14]. The studies available in the literature cover the examination of the influences of three critical issues such as the thickness of the steel tube, the bond strength occurring between the concrete core and encircling steel tube, as well as the confinement provided by the steel tube, on the characteristics and behavior of the axially loaded CFST circular columns involving a broad array of concrete strengths. The experimental results were compared to the design specifications' predictions [15]. Designating the ultimate bearing capacity of axially loaded CFST columns by experimental studies has become an important studying field for researchers. For this reason, it can be expressed that the experimental studies of CFST columns have become a popular subject for engineering studies and applications.

Finite element analysis (FEA), which is an extensively used numerical approach for performing various engineering analyses in the literature, is based on the finite element method (FEM) that provides solutions by simplifying complex engineering problems. Furthermore, with greater computer effort, the approximation computations in the FEM can be enhanced or adjusted [16]. In the literature, there are several studies, in which the FEM has been successfully used to investigate the behavior and characteristics of CFST members [17-22]. For instance, Wang et al. [20] presented a study in which the impact performance of CFST elements was investigated. They obtained the time history and failure modes of the impact forces for the composite elements under the lateral impact. An FEA model has been created to examine the effects of the strain rate for concrete and steel materials and the interaction occurring between the steel tube and concrete core. In addition, the effect of steel tube confinement has been taken into account. Dataset was used to confirm the reliability of the FEA model, and in general, compatible results were obtained. Ellobody et al. [22] presented a nonlinear finite element technique-based analysis of normal and high-strength CFST circular stub columns. Also, a parametric study was conducted to evaluate the influence of various concrete strengths as infill material. However, it should be emphasized that more studies are required to better understand the structural response of such composite columns.

In this context, this study aims to create an FEA model for determining the ultimate load-carrying capacity (N_u) of CFST circular columns. To this, a FEM-based program named ABAQUS [23] was employed to construct the FEM model. A total of 314 experimental data specimens compiled from previously conducted studies available in the literature were utilized to evaluate the performance of the FEM model. The design parameters were listed as the column diameter (D), wall thickness (t) and yield strength (f_y) of steel tube, concrete compressive strength (f_c), and column length (L). As a result, the design model developed using the FEM was compared with the design models proposed by the codes and standards [24-32]. Moreover, the performance of the FEM model and the other ones were evaluated in terms of statistical parameters.

II. EXISTING FORMULATIONS IN DESIGN CODES

The formulations specified in the design codes are summarized here. The American Concrete Institute [24] and Australian Standards [25-26] have proposed the same formula, which was labeled as ACI/AS in the current study, for estimating the ultimate axial load carrying capacity of the CFST circular columns. The ACI/AS equation disregards the confinement effect and is expressed as in Equation 1:

$$N_u = 0.85f'_c A_c + f_y A_s \quad (1)$$

where

f'_c is the concrete compressive strength measured on standard cylinders

A_c is the cross – sectional area of concrete core

f_y is the yield strength of steel tube

A_s is the cross – sectional area of steel tube

However, the expression proposed in the American Institute of Steel Construction (AISC) [27] contains the confinement effect presented as follows:

In the case of $P_e \geq 0.44P_{0,AISC}$,

$$N_u = P_{0,AISC} \left[0.658 \left(\frac{P_{0,AISC}}{P_e} \right) \right] \quad (2)$$

in which the nominal strength ($P_{0,AISC}$) and elastic buckling load (P_e) is expressed as follows:

$$P_{0,AISC} = 0.95f'_c A_c + f_y A_s \quad (3)$$

$$P_e = \frac{\pi^2(EI)_{eff1}}{(K_A L_A)^2} \quad (4)$$

where

K_A is the effective length factor

L_A is the laterally unbraced length of the column

The equation of the effective stiffness of the composite section $(EI)_{eff1}$ in the elastic buckling load (P_e) is given as follows:

$$(EI)_{eff1} = E_s I_s + C_3 E_{c1} I_c \quad (5)$$

where

E_s is the modulus of elasticity of steel

I_s is the moment of inertia of steel tube

E_{c1} is the modulus of elasticity of concrete ($4730x\sqrt{f'_c}$ in MPa) (for the normal weight concrete)

I_c is the moment of inertia of concrete core

The expression of the coefficient C_3 stated in Equation 5 is presented in Equation 6 as follows:

$$C_3 = 0.6 + 2 \left(\frac{A_s}{A_c + A_s} \right) \leq 0.9 \quad (6)$$

The formulation suggested by the Architectural Institute of Japan (AIJ) [28-29] comprises the confinement factor (η) for effective length-to-diameter (l_k/D) greater than 4. The confinement factor (η) enhances the load-carrying capacity owing to the interaction occurring between the steel tube and concrete core. The formulation proposed by AIJ is expressed as in Equation 7:

$$N_u = 0.85f'_c A_c + (1.0 + \eta)f_y A_s \quad (7)$$

In order to estimate the load-carrying capacity of CFST columns, Eurocode 4 [30] proposed expressions that consider both the confinement effect and the contribution depending on the steel tube and concrete interaction. These expressions are presented as follows:

$$N_u = \left(1 + \eta_c \frac{t}{D} \frac{f_y}{f'_c} \right) f'_c A_c + \eta_a f_y A_s \quad (8)$$

where

η_c is the confinement coefficient for the concrete

η_a is the confinement coefficient for the steel tube

These coefficients are expressed as follows:

$$\eta_c = 4.9 - 18.5\bar{\lambda} + 17\bar{\lambda}^2 (\eta_c \geq 0) \quad (9)$$

$$\eta_a = 0.25(3 + 2\bar{\lambda}) (\eta_a \leq 1.0) \quad (10)$$

in which the relative slenderness ($\bar{\lambda}$) is expressed as follows:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pIR}}{N_{cr}}} \quad (11)$$

in which the equations for N_{pIR} and N_{cr} given in Equation 11 are expressed as follows:

$$N_{pIR} = f_y A_s + f'_c A_c \quad (12)$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff2}}{l^2} \quad (13)$$

in which the equation for the effective flexural stiffness $(EI)_{eff2}$ given in Equation 13 is presented as follows:

$$(EI)_{eff2} = E_s I_s + K_e E_{c2} I_c \quad (14)$$

where K_e and E_{c2} are the correction factor (0.6) and the elastic modulus of concrete (expressed as $E_{c2} = 22000[(f'_c + 8)/10]^{0.3}$ in MPa), respectively. However, when the relative slenderness ($\bar{\lambda}$) is equal to 0, the sectional capacity ($P_{0,EC4}$) can be determined using the expression given below:

$$P_{0,EC4} = \left(1 + 4.9 \frac{t}{D} \frac{f_y}{f'_c}\right) f'_c A_c + 0.75 f_y A_s \quad (15)$$

The expression in Chinese code (DL/T) [31] assumes that a CFST stub column consists of a single material that has a nominal yield strength of the composite section (f_{scy}). This expression is presented as follows:

$$N_u = f_{scy} (A_s + A_c) \quad (16)$$

$$f_{scy} = (1.212 + B\xi + C\xi^2) f_{ck} \quad (17)$$

in which the coefficients B and C , the confinement factor (ξ), and f_{ck} are presented as follows:

$$B = 0.1759 \frac{f_y}{235} + 0.974 \quad (18)$$

$$C = -0.1038 \frac{f_{ck}}{20} + 0.0309 \quad (19)$$

$$\xi = \frac{A_s f_y}{A_c f_{ck}} \quad (20)$$

$$f_{ck} = 0.67 f_{cu} \quad (21)$$

where

f_{ck} is the characteristic concrete strength

f_{cu} is the 150 – mm cubic concrete compressive strength

Finally, the Canadian Institute of Steel Construction (CISC) [32] has proposed an equation, which involves some material and geometric properties, expressed as follows:

$$N_u = \tau N_r + \tau' N'_r \quad (22)$$

$$N_r = \phi A_s f_y (1 + \lambda^{2n})^{-\frac{1}{n}} \quad (23)$$

$$\lambda = \frac{KL}{r_s} \sqrt{\frac{f_y}{\pi^2 E_s}} \quad (24)$$

$$N'_r = 0.85 \phi_c f'_c A_c \lambda_c^{-2} [\sqrt{1 + 0.25 \lambda_c^{-4}} - 0.5 \lambda_c^{-2}] \quad (25)$$

where

ϕ is the resistance factor

n is the number of data samples

r_s is the radius of gyration of steel

ϕ_c is the coefficient, equal to 0.6

The expression of λ_c given in Equation 25 is presented as follows:

$$\lambda_c = \frac{KL}{r_c} \sqrt{\frac{f'_c}{\pi^2 E_c}} \quad (26)$$

where

r_c is the radius of the gyration of concrete

The formulations of τ and τ' are expressed as follows:

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{1+\rho+\rho^2}} \quad (27)$$

$$\tau' = 1 + \left(\frac{25\rho^2\tau}{(D/t)}\right) \left(\frac{f_y}{0.85f'_c}\right) \quad (28)$$

$$\rho = 0.02(25 - L/D) \quad (29)$$

III. FINITE ELEMENT MODELING

To accurately examine the nonlinear behavior of the axially loaded CFST columns, the three fundamental parameters of such composite members should be first described and modeled. These fundamental parameters are the characteristics of steel tube and concrete core, and the interface occurring between the steel tube and concrete core. In this respect, the steel tube and its endplates have been described as bilinear isotropic hardening with elastic-plastic material behavior. In the study of Han and Huo [33], the stress-strain curve for steel has comprised of two parts, namely elastic and plastic zones. As can be seen in Figure 1a, the elastic properties of steel have been defined in the first part, from the origin point to the yield point of steel while the plastic region has been utilized in characterizing the elastic modulus. In this regard, the behavior of steel in ABAQUS [23] has been defined as elastic in the first region that is up to the yield strain, and plastic in the second region between the yield and final strain.

In another respect, based on the studies of Hu et al. [34] and Binici [35], the concrete has been modeled with a stress-strain characteristic consisting of three regions, see Figure 1b. The elastic zone, which is the first zone of this characteristic, covers a region starting from the origin point and ending at the proportional limit stress. On the other hand, the second part of the stress-strain characteristic of concrete is a nonlinear zone that is between the confined concrete stress and proportional limit. The zone starting from the confined concrete stress and extending along to the final strength value of the curve forms the third part of the stress-strain relation of the concrete core. In order for detailed calculations of stress-strain relationships of steel tube and concrete materials, see the study carried out by İpek et al. [36].

The deformable solid has been used to describe and model the steel tube and concrete, while the discrete rigid has been designated to model the endplates. The steel tube and concrete components have been designed by choosing the reduced integration and geometric order of linear, namely C3D8, which has a triangle element shape. Besides, the endplates have been modeled as the geometric order of linear, namely R3D3, which has a hexahedron element type.

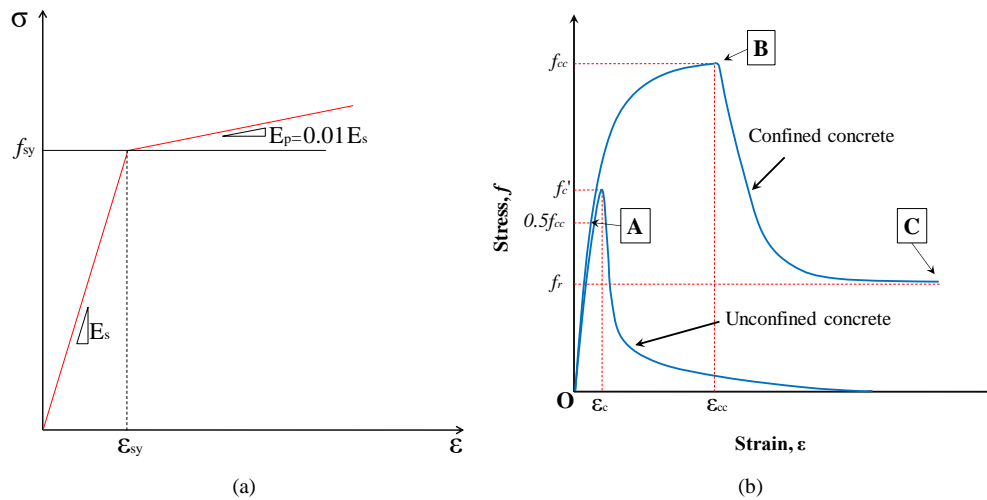


Figure 1. Stress-strain behavior of (a) steel end plates and tubes [33] and (b) confined and unconfined concrete [34-36]

On the top and bottom endplates, a reference (RF) point has been composed to constitute a rigid body constraint and to determine their center. The boundary conditions and loadings have been defined from these RF points of the models. The bottom endplates have been modeled as fixed support against all degrees of freedom. Nevertheless, the top plate on which the load is applied has been released in the direction of loading. The RF point of the top endplate has been loaded as the static uniform loading by specified displacement. However, the boundary condition at the bottom has been fixed against 4 degrees of freedom ($u_x = u_y = u_z = \theta_z = 0$). Namely, the bottom plate of the model has been only allowed to rotate about x and y axes. On the other hand, the top plate was allowed to deform in the z-direction and rotate about the x and y axes. In other words, deformations in the x and y directions in the top plate and rotation around the z-axis have not been allowed ($u_x = u_y = \theta_z = 0$).

IV. VERIFICATION OF FEM DESIGN MODEL

Both the calibration and verification of such models are very important to properly predict the response and characteristics of such columns. Apart from estimating the ultimate axial strength, the load-displacement curves obtained from the developed FEM design model for the CFST circular columns have been also examined to evaluate the estimation performance of the design model. Figures 2a and 2b demonstrate the axial load-displacement relationships of the D4M3C and D4M4C samples taken from the experimental study carried out by Gupta et al. [17] and their comparison with those obtained from the FEM design model developed in this study. The D4M3C and D4M4C named CFST column specimens had the same outer steel tube diameter and steel tube thickness of 112.56 mm and 2.89 mm, respectively. Both column specimens had the same height and steel tube yield strength of 340 mm and 360 MPa, respectively. The only difference between these two column specimens was the concrete grade. The D4M3C named column specimen was manufactured with concrete having 30 MPa compressive strength while the D4M4C named one was produced with concrete having 40 MPa compressive strength. The experimental results revealed that the concrete compressive strength has an effect on both the load-carrying capacity and ductility performance of such columns. The CFST column specimen manufactured with a higher concrete compressive strength yielded more ductile behavior. It can be also seen that the concrete compressive strength does not significantly influence the behavior of such columns after peak strength (in the strain-softening region). Almost similar observations were achieved from the developed FEM design model. Increasing the compressive strength led to an increase in the load-carrying capacity without affecting the post-peak performance.

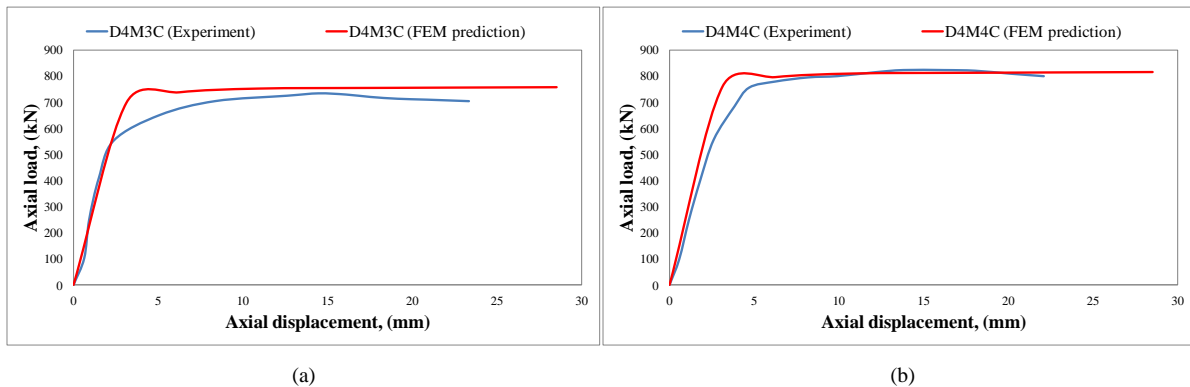


Figure 2. Axial load vs. displacement of: (a) D4M3C and (b) D4M4C specimens in the study of Gupta et al. [17] and those predicted by FEM

In addition, minor variations between the experimental and predicted load versus strain (displacement) curves obtained in the current study are thought to be the result of a discrepancy in the component and interaction models. It should be noted that discrepancies in the actual and predicted load versus displacement curves resulted from a failure to simulate the true circumstances, which included material strengths, boundary conditions, testing equipment accuracy, starting flaws, and manufacturing faults. Furthermore, it should be noted that a complete simulation of all real-world testing conditions in finite element analysis is not feasible, and that concrete features cannot be defined just by strength tests, even if the concrete strength is determined on the day of the column's testing. As a result, it may be inferred that such disparities between real-world test conditions and finite element analysis cannot be eliminated.

Similarly, Figures 3a and 3b show the comparison of the experimental axial load vs. strain curves of the column specimens CU-070 and CU-150 given in the study of Huang et al. [37] with the graph obtained from the FEM prediction. The CU-070 named CFST circular column had an outer diameter of 280 mm and a tube thickness of 4 mm while the CU-150 named CFST circular column had an outer diameter of 300 mm and a tube thickness of 2 mm. Thereby, the diameter-to-thickness ratio of the CU-070 named column was 70 and that of the CU-150 named was 150. Besides, the yield strengths of steel tubes of these specimens were, respectively, 272.6 MPa and 341.7 MPa whereas their concrete cube strengths were 31.2 MPa and 27.2 MP, respectively. As can be seen from the figures, increasing the diameter-to-thickness ratio resulted in lower ultimate axial strength and caused a sudden decrease in the load-bearing capacity after the peak strength. A similar diameter-to-thickness ratio-dependent decrease in the ultimate axial strength was observed in the results of the developed FEM model; however, the sudden reduction in the strain-softening region was not achieved in the model.

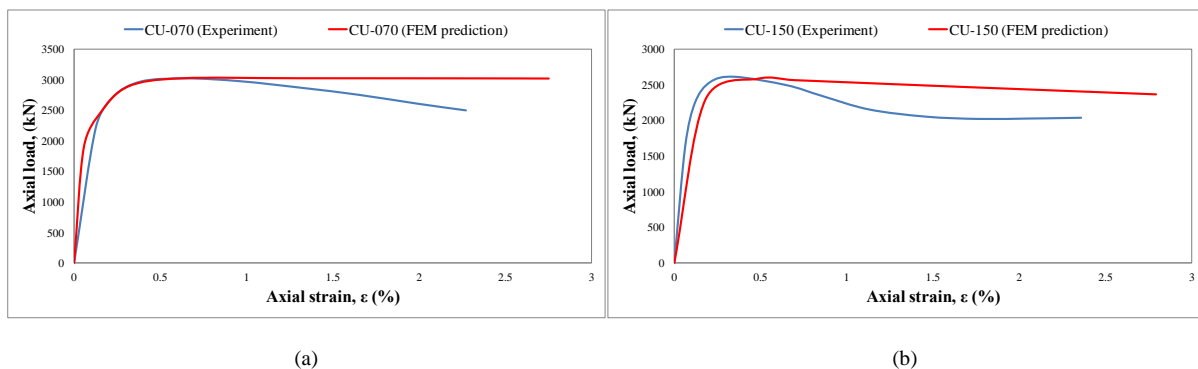


Figure 3. Axial load vs. axial strain of: (a) CU-070 and (b) CU-150 specimens in the study of Huang et al. [37] and those predicted by FEM

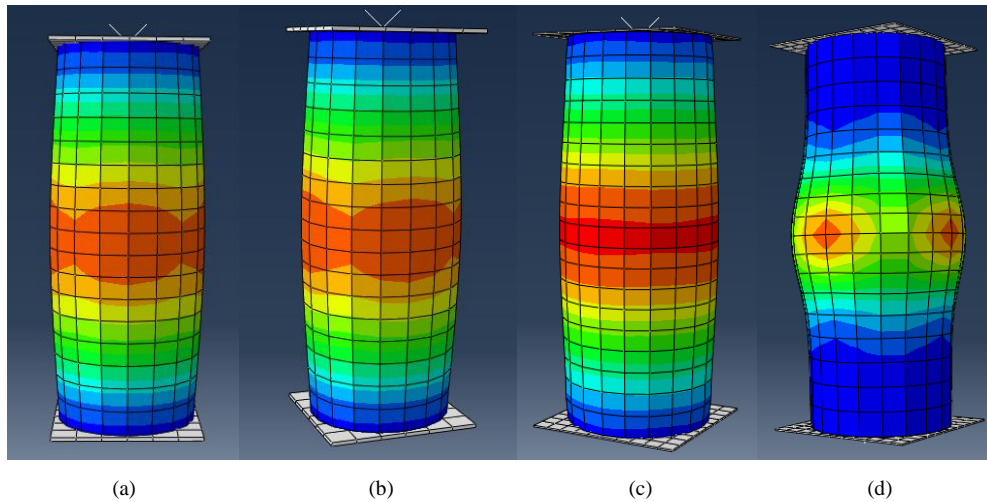


Figure 4. Simulated deformed shapes of the CFST circular column specimens labeled:(a) D4M3C and (b) D4M4C [17] and (c) CU-070 and (d) CU-150 [37] (from FEM analysis)

In the aforementioned studies, the deformed shapes of the CFST circular column specimens labeled D4M3C and D4M4C [17] and CU-070 and CU-150 [37] were not provided. However, in general, the failure modes of the sample vary depending on the steel tube yielding strength and thickness, the concrete compressive strength, the column slenderness, and the confinement effect (namely, interaction between the steel tube and concrete). , the FEA performed on the ABAQUS Software provided the simulated deformed shapes of these specimens. When the simulated deformed shapes of specimens were investigated, it would be seen that these specimens tend to have bulged from the mid-portion. Bulge shape failure modes in the samples are caused by the outward buckling of the steel tube occurring due to lateral expansion of concrete. On the other hand, it can be stated that the concrete core failure is caused by the crushing of the concrete material, thus causing deterioration in the steel tube. On the other hand, in light of the experimental and numerical evaluations, it has been clearly seen that there is a good matching and agreement between the experimental and computational results. In addition, the model developed in the current study yielded almost similar axial load versus strain (displacement) results. Moreover, as shown in Figure 5a, there is a formation of buckling on the steel tube of the experimentally tested scsc2-2 labeled specimen given in the study of Lin-Hai and Guo-Huang [38]. In Figure 5b, it has been clearly seen that a similar failure mode could be occurred in the specimen analyzed according to the developed FEM model. It can be stated that the failure mode of the specimen simulated from the developed FEM model is strongly reliable and consistent.

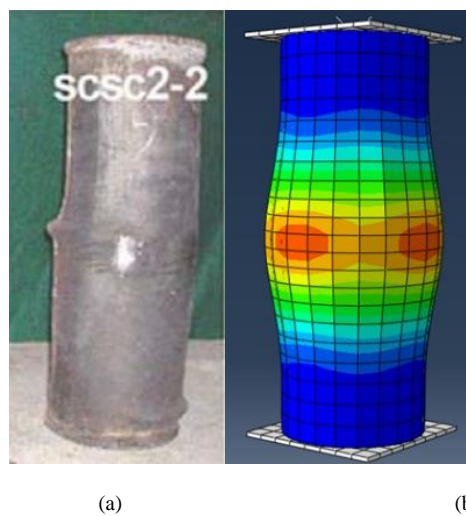


Figure 5. Failure mode comparison of scsc2-2 specimen in the study of Lin-Hai and Guo-Huang [38] (a) experimental and (b) FEM results

V. VERIFICATION OF FINITE ELEMENT MODEL

The previously conducted experimental studies on the CFST circular columns were utilized to confirm the FEA model created in this study [9,15,17,37-62]. The diameter of the column (D), the thickness (t) and yield strength (f_y) of steel tube, the 28-day concrete compressive strength (f_c), and the column length (L) have been employed as geometric and material properties. The experimental data employed to derive, verify and confirm the model are summarized in Table 1 containing the sources of these datasets.

The FEM design model was established by considering a dataset consisting of a total of 314 experimentally tested CFST circular columns of which properties are presented in Table 1. The properties of these column specimens can be specified as the steel tube outer diameter varying from 60 to 1020 mm, the steel tube thickness ranging from 0.70 to 13.25 mm, the steel tube yield strength ranging from 185 to 853 MPa, and the concrete compressive strength varying between 15 and 130 MPa.

The estimation capability of the developed FEM model containing the designated $\pm 10\%$ normalization limits is indicated in Figure 6. It obviously indicates that the normalized ultimate axial strength values are well scattered between the designated normalization limit lines. But when the number of normalized ultimate axial strength values falling out of normalization limit lines is compared with that remaining between these lines, it would be overtly seen that the number of normalized ultimate axial strength falling in the normalization limit lines is much more than that falling out of these lines.

Table 1. Experimental specimens details and their sources

Reference	Number of Testing Specimens	D (mm)	t (mm)	L (mm)	f_c (MPa)	f_y (MPa)	$N_{u,experimental}$ (kN)
[9]	5	114-168	5.0-8.0	248-330	29-114	365	1876-3101
[15]	8	114-115	3.8-5.0	300-301	26-90	343-365	948-1787
[17]	6	113	2.9	340	20-32	360	730-822
[37]	3	200-300	2.0-5.0	600-900	27-31	266-342	2013-3025
[38]	4	100-200	3.0	300-600	48	304	708-2330
[39]	12	76-153	1.7-4.9	152-305	21-43	363-633	355-2913
[40]	2	150	0.7	480	23-34	248	547-756
[41]	15	165-190	0.9-2.8	578-665	41-108	186-363	1350-3360
[42]	29	102-140	2.4-3.0	305-420	24-130	341-463	676-2175
[43]	36	108-450	2.96-6.5	324-1350	24-82	279-853	941-13776
[44]	10	159-1020	5.1-13.3	447-3060	15-46	291-382	2230-46000
[45]	12	174-179	3.0-9.0	360	21-44	249-283	1220-2730
[46]	6	190	1.2	656-664	95-110	203	2462-3140
[47]	12	297-302	4.5-11.9	891-905	27-79	348-471	3851-9388
[48]	13	101-319	3.0-10.4	304-956	22-50	331-452	649-8289
[49]	28	149-165	1.0-8.0	500	69-73	338-438	1372-3330
[50]	1	120	2.65	360	16	340	640
[51]	36	133-168	3.3-5.4	396-504	34-59	325-392	1140-2480
[52]	26	60-250	1.9-2.0	180-750	70-75	282-404	312-4800
[53]	4	76-114	2.1-3.8	229-343	51	271-358	430-927
[54]	16	108-133	1.0-7.0	378-465	91-101	232-429	1239-3404
[55]	6	165-219	2.7-4.8	510-650	34-62	350	1560-3400
[56]	1	150	3.0	450	60	356	1915
[57]	4	100	1.9	300	112	404	1085-1170
[58]	6	104-114	2.0-6.0	300	31-65	266-412	699-1674
[59]	2	108-150	3.0-4.0	320-330	34-46	274-375	820-1880
[60]	2	300-360	6.0-12.0	720-900	32	479-498	5550-6750
[61]	6	114-167	3.1-5.6	250-350	44-60	300	1042-1873
[62]	3	112-114	1.9-3.7	400	38-47	260-261	667-1011

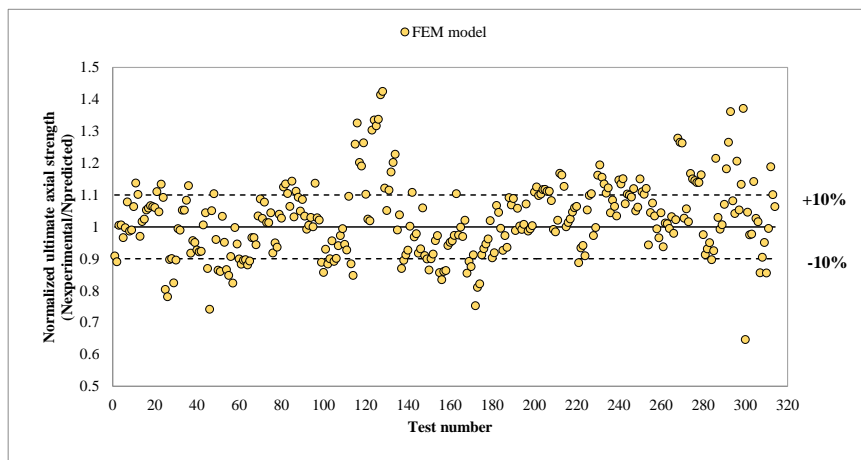


Figure 6. The normalized ultimate axial strength-based prediction performance of the developed FEM design model

VI. COMPARING THE FEM DESIGN MODEL WITH DESIGN CODES

Comparing the effectiveness and prediction capability of the developed FEM design model with the existing design formulations proposed by the design codes and standards was discussed in this part. The peak strength values of the CFST circular columns predicted by the developed FEM design model and the expressions proposed by design codes are compared in Figure 7.

It can be clearly seen that the FEM model proposed in the present study has shown a better estimation capability than many of the code formulae since the load-carrying capacities predicted by the FEM design model have been amassed near the 100% agreement line as demonstrated in Figure 7. A better prediction capability than all others except Eurocode 4 [30] was achieved in the proposed FEM model. But almost similar estimation performance has been observed in the proposed FEM model and the numerical model provided by Eurocode 4 [30].

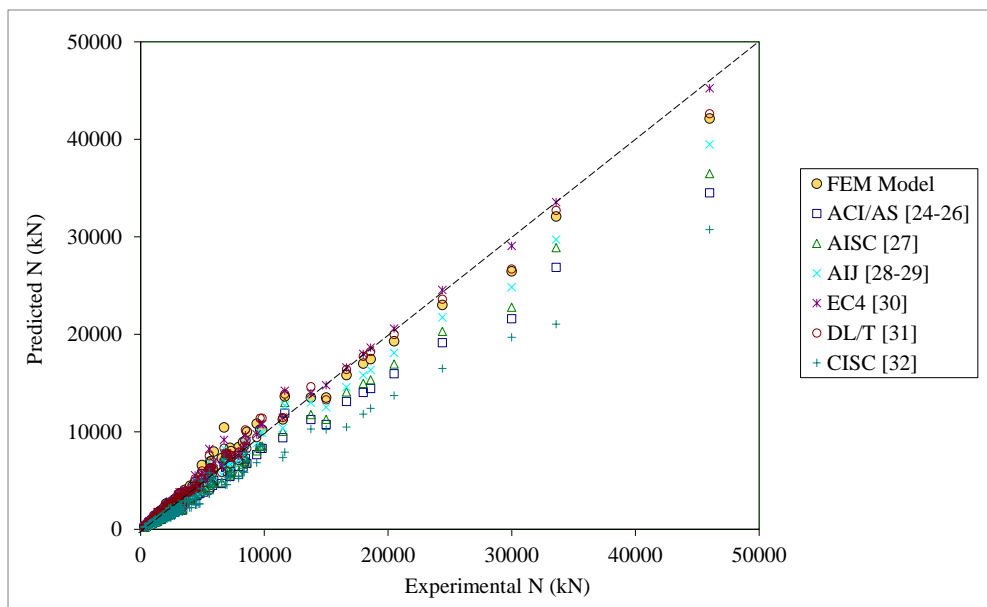


Figure 7. Comparing the developed FEM design model with available code design models

The comparison of the normalized ultimate strength values of the developed FEM design model with the empirical models provided by ACI/AS [24-26], AISC [27], AIJ [28,29], Eurocode 4 [30], DL/T [31], and CISC [32] have been shown in Figures 8a-f, respectively. The purpose of presenting the results as graphs is to provide a clearer comparison to comprehend the estimation performance of the FEM model against the code formulas.

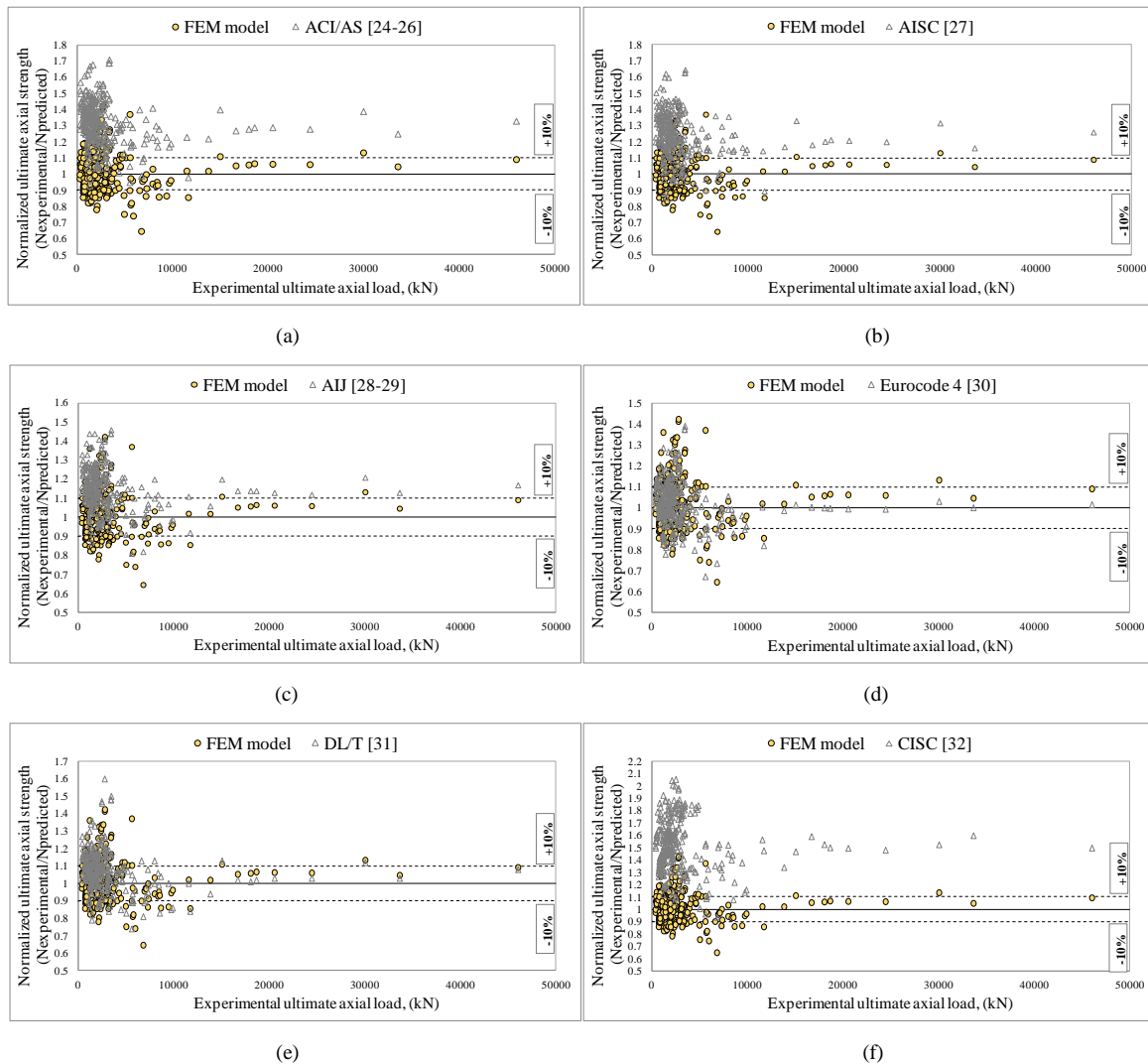


Figure 8. Normalized ultimate axial strengths of FEM model and codes formulae vs. experimental ultimate axial loads; (a) ACI/AS, (b) AISC, (c) AIJ, (d) EC4, (e) DL/T, and (f) CISC

Considering the comparison results, it is obviously seen that the FEM model performs better than the empirical models suggested by the codes except for Eurocode 4 [30]. For example, by observing Figures 8a, 8b, 8c, and 8f when the predicted results of the developed FEM design model are measured up against the results estimated by using the empirical models of the ACI/AS [24-26], AISC [27], AIJ [28,29], and CISC [32], respectively, it can be clearly seen that the developed FEM design model has a relatively better estimation capability than the mentioned codes. Because much of the normalized ultimate axial strength values achieved from the FEM model have concentrated between the normalization limits while there are many underestimated ultimate axial strength values obtained by using the empirical models suggested by these codes. Namely, the proposed FEM model and the empirical models provided by the codes have underestimated and overestimated values but the residual ultimate axial strength values of the empirical models of the codes are much greater than that of the proposed FEM model. Moreover, the proposed FEM model has also indicated better performance than the empirical model suggested by the DL/T [31] code, as shown in Figure 8e. But the prediction performance of the DL/T [31] code has been partially better than the other aforementioned four codes. Additionally, according to Figure 8d, it can be forthrightly stated that the Eurocode 4 [30] formula performed approximately similar prediction capability to the proposed FEM model. It has been noticed that the prediction performance of both models is similar, yet, the empirical model of Eurocode 4 [30] is slightly better than the proposed FEM model for some test data.

For a more effective comparison of the FEM model developed in this study and the current design codes, the following statistical parameters have been calculated and presented in Table 2. As observed in Table 2, the lowest MAPE value has been attained from the empirical model suggested by Eurocode 4 [30]. Although the statistical parameters for the FEM model are more than that of the Eurocode 4 [30] formula, it has been exhibited that the FEM model has better than any other design code.

Table 2. Statistical parameters of the developed design model as well as existing design codes

Parameters	FEM Model	ACI/AS [24-26]	AISC [27]	AIJ [28, 29]	EC4 [30]	DL/T [31]	CISC [32]
Mean Absolute Percent Error (MAPE)	8.81	23.06	19.21	13.19	7.72	9.54	32.67
Mean Square Error (MSE)	297708	1560635	1046042	512859	144136	230299	3263203
Root Mean Square Error (RMSE)	546	1249	1023	716	380	480	1806

In this regard, for a more detailed examination, Figure 9 shows the average absolute errors for the specific intervals of the experimental and predicted axial load carrying capacity values. For the N_u values of less than 5000 kN, error values of the FEM model, Architectural Institute of Japan [28-29], Eurocode 4 [30], and Chinese code DL/T [31] are very close. But for higher N_u values, the developed FEM design model has exhibited better performance than the American Concrete Institute [24], Australian Standards [25-26], American Institute of Steel Construction [27], and Canadian Institute of Steel Construction [32]. However, the highest errors among the design codes for all N_u values have been determined for the empirical model of the CISC [32] code. The lowest error for the FEM model has been observed for the N_u values higher than 10000 kN and its value is about 7%. Among the relationships of the existing design codes, Eurocode 4 [30] has generally demonstrated better estimation performance than the others.

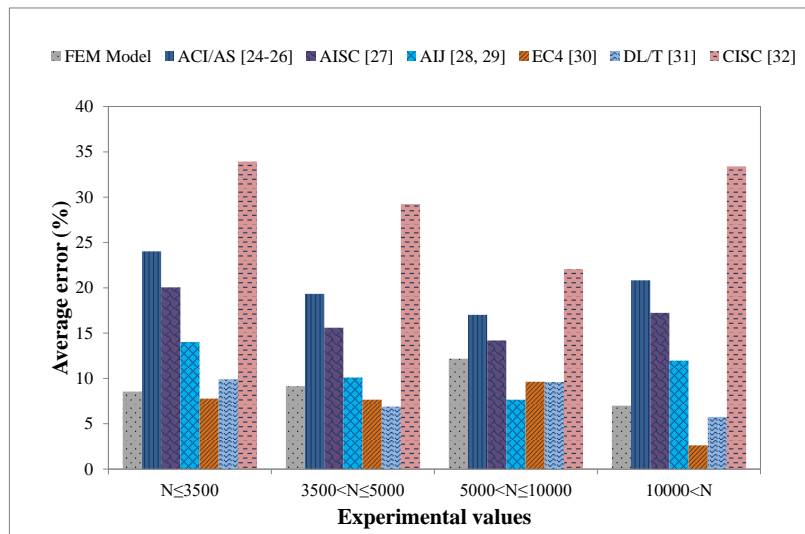


Figure 9. Absolute error analysis of the FEM model and design codes according to the axial loads

VII. CONCLUSIONS

In light of the aforementioned findings and discussions, the following conclusions could be drawn:

- A model for predicting the response of the CFST circular columns was developed using the FEM. The developed design model was confirmed and validated in terms of ultimate axial strength, axial-load displacement response, and failure mechanisms. According to the findings, the developed FEM design model could be employed to estimate the ultimate axial strength of the CFST elliptical column subjected to axial compressive load.
- The FEM design model developed in the current study could be a beneficial tool in the determination of load-displacement response and failure mode of the CFST circular columns.

- The predicted ultimate axial strengths achieved from the developed FEM design model were compared with that estimated using the design models proposed by code/standard. The prediction performance of the developed FEM design model is more consistent and reliable than that of the empirical models provided by the codes/standards except for Eurocode 4. Among these predictive empirical models given in the codes/standards, the best prediction performance has been achieved from the model of Eurocode 4.

- The prediction performance of the developed FEM design model and design formulae proposed by codes/standards were also statistically assessed. The statistical evaluation of the prediction performances demonstrated that the developed FEM design model and the empirical models proposed by AIJ, EC4, and DL/T had very close error values. The proposed FEM design model indicated a better prediction performance than the empirical models proposed by ACI/AS, AISC, and CISC.

- The developed FEM design model predicted not only the ultimate axial strength but also the full load-displacement curves and failure mechanism of such composite members. For this reason, instead of using the aforementioned design models proposed by codes/standards to predict the performance of CFST columns, employing a FEM-based design model confirmed and validated by experimental results in characterizing the behavior of such composite members will be more reliable and functional.

REFERENCES

- [1] Tsuda, K., Matsui, C., & Ishibashi, Y. (1995). Stability design of slender concrete filled steel tubular columns. In: Proc. of the Fifth Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-5), 439-444.
- [2] Zeghiche, J., & Chaoui, K. (2005). An experimental behaviour of concrete-filled steel tubular columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 61, 53-66.
- [3] Lu, Z.H., & Zhao, Y.G. (2010). Suggested empirical models for the axial capacity of circular CFT stub column. *Journal of Constructional Steel Research*, 66, 850-862.
- [4] Han, L.H., Li, W., & Bjorhovde, R. (2014). Developments and advanced applications of concrete-filled steel tubular (CFST) structures: Members. *Journal of Constructional Steel Research*, 100, 211-228.
- [5] Li, N., Lu, Y.Y., Li, S., & Liang, H.J. (2015). Statistical-based evaluation of design codes for circular concrete-filled steel tube columns. *Steel and Composite Structure*, 18, 519-546.
- [6] Zhao, X.L., & Han, L.H. (2006). Double skin composite construction. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 8, 93-102.
- [7] Roeder, C.W., Lehman, D.E., & Bishop, E. (2010). Strength and stiffness of circular concrete-filled tubes. *Journal of Structural Engineering*, 136, 1545-1553.
- [8] Lu, Z.H., & Zhao, Y.G. (2010). Suggested empirical models for the axial capacity of circular CFT stub column. *Journal of Constructional Steel Research*, 66, 850-862.
- [9] Ho, J.C.M., & Lai, M.H. (2013). Behaviour of uni-axially loaded CFST columns connected by tie bars. *Journal of Constructional Steel Research*, 83, 37-50.
- [10] D'Aniello, M., Güneyisi, E.M., Landolfo, R., & Mermerdaş, K. (2014). Analytical prediction of available rotation capacity of cold-formed rectangular and square hollow section beams. *Thin-Walled Structures*, 77, 141-152.
- [11] Güneyisi, E.M., Gültekin, A., & Mermerdaş, K. (2016). Ultimate capacity prediction of axially loaded CFST short columns. *International Journal of Steel Structures*, 16, 99-104.
- [12] İpek, S., & Güneyisi, E.M. (2019). Ultimate axial strength of concrete-filled double skin steel tubular column sections. *Advances in Civil Engineering*, 11, 1-19.
- [13] Güneyisi, E.M., & Nour, A.I. (2019). Axial compression capacity of circular CFST columns transversely strengthened by FRP. *Engineering Structures*, 191, 417-431.
- [14] Furlong, R.W. (1967). Strength of steel-encased concrete beam-columns. *Journal of the Structural Division (ASCE)*, 93, 113-124.

- [15] Giakoumelis, G., & Lam, D. (2004). Axial capacity of circular concrete-filled tube columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 60, 1049-1068.
- [16] Rao, S.S. (2004). *The finite element method in engineering* (4th Ed). Butterworth-Heinemann.
- [17] Gupta, P.K., Sarda, S.M., & Kumar, M.S. (2007). Experimental and computational study of concrete filled steel tubular columns under axial loads. *Journal of Constructional Steel Research*, 63, 182-193.
- [18] Dai, X., & Lam, D. (2010). Numerical modelling of the axial compressive behaviour of short concrete-filled elliptical steel columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 66, 931-942.
- [19] El-Heweity, M.M. (2012). On the performance of circular concrete-filled high-strength steel columns under axial loading. *Alexandria Engineering Journal*, 51, 109-119.
- [20] Wang, R., Han, L.H., & Hou, C.C. (2013). The behavior of concrete filled steel tubular (CFST) members under lateral impact: Experiment and FEA model. *Journal of Constructional Steel Research*, 80, 188-201.
- [21] Al-Ani, Y.R. (2018). Finite element study to address the axial capacity of the circular concrete filled steel tubular stub columns. *Thin-Walled Structures*, 126, 2-15.
- [22] Ellobody, E., Young, B., & Lam, D. (2006). Behaviour of normal and high strength concrete-filled compact steel tube circular stub columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 706-715.
- [23] ABAQUS. (2014). *Analysis user's manuals and example problems manuals*. Dassault Systemes Simulia Corp, Providence, RI, USA.
- [24] ACI318-05. (2005). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-05) and commentary (ACI 318R-05)*. Farmington Hills (MI, USA): American Concrete Institute.
- [25] AS4100. (1998). *Steel structures*. Sydney (Australia): Standards Association of Australia.
- [26] AS3600. (2001). *Concrete structures*. Sydney (Australia): Standards Association of Australia; 2001.
- [27] AISC. (2005). *Load and resistance factor design (LRFD) specification for structural steel buildings*. Chicago (IL, USA): American Institute of Steel Construction.
- [28] AIJ. (1997). *Recommendations for design and construction of concrete filled steel tubular structures*. Tokyo (Japan): Architectural Institute of Japan.
- [29] AIJ. (2001). *Standards for structural calculation of steel reinforced concrete structures 5th ed*. Tokyo (Japan): Architectural Institute of Japan.
- [30] EN 1994. (2004). *Design of composite steel and concrete structures – Eurocode 4: Part 1.1, General rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization: British Standards Institution.
- [31] DL/T 5085. (1999). *Chinese design code for steel-concrete composite structures*. Beijing (China): Chinese Electricity Press.
- [32] CISC. (1997). *Canadian Institute of Steel Construction, Handbook of Steel Construction*, 7th Ed. ISBN 0-88811-088-X, Ontario.
- [33] Han, L.H., & Huo, J.S. (2003). Concrete-filled HSS columns after exposure to ISO-834 standard fire. *Journal of Structural Engineering*, 129, 68-78.
- [34] Hu, H.T., Huang, C.H., Wu, M.H., & Wu, Y.M. (2003). Nonlinear analysis of axially loaded concrete-filled tube columns with confinement effect. *Journal of Structural Engineering*, 129(10), 1322-1329
- [35] Binici, B. (2005). An analytical model for stress-strain behavior of confined concrete. *Engineering Structures*, 27(7), 1040-1051.
- [36] İpek, S., Erdoğan, A., & Güneyisi E.M. (2021). Compressive behavior of concrete-filled double skin steel tubular short columns with the elliptical hollow section. *Journal of Building Engineering*, 38, 102200.
- [37] Huang, C.S., Yeh, Y.K., Liu, G.Y., Hu, H.T., Tsai, K.C., Weng, Y.T., Wang, S.H., & Wu, M.H. (2002). Axial load behavior of stiffened concrete-filled steel columns. *Journal of Structural Engineering*, 128, 1222-1230.

- [38] Lin-Hai, H., & Guo-Huang, Y. (2004). Experimental behaviour of thin-walled hollow structural steel (HSS) columns filled with self-consolidating concrete (SCC). *Thin-Walled Structures*, 42, 1357-1377.
- [39] Gardner, N.J., & Jacobson, E.R. (1967). Structural behavior of concrete-filled steel tubes. *ACI Structural Journal*, 64, 404-412.
- [40] Lin, C.Y. (1988). Axial capacity of concrete infilled cold-formed steel columns. In: The Ninth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, November 8-9, St Louis, Missouri, USA, 443-457.
- [41] O'Shea, M.D., & Bridge, R.Q. (2000). Design of circular thin-walled concrete filled steel tubes. *Journal of Structural Engineering*, 126(11), 1295-1303.
- [42] Saisho, M., Abe, T., & Nakaya, K. (1999). Ultimate bending strength of high-strength concrete filled steel tube column. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 523, 133-140.
- [43] Sakino, K., Nakahara, H., Morino, S., & Nishiyama, I. (2004). Behavior of centrally loaded concrete-filled steel-tube short columns. *Journal of Structural Engineering*, 130, 180-188.
- [44] Luksha, L.K., & Nesterovich, A.P. (1991). Strength testing of larger-diameter concrete filled steel tubular members. In: The 3rd International Conference on Steel-concrete Composite Structures, September 26-29, Fukuoka, Japan, 67-70.
- [45] Sakino, K., & Hayashi, H. (1991). Behavior of concrete filled steel tubular stub columns under concentric loading. In: In: The 3rd International Conference on Steel-concrete Composite Structures, September 26-29, Fukuoka, Japan, 25-30.
- [46] O'Shea, M.D., & Bridge, R.Q. (1994). Tests of thin-walled concrete-filled steel tubes. In: The Twelfth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures; October 18-19, St. Louis, Missouri, USA, 399-419.
- [47] Kato, B. (1995). Compressive strength and deformation capacity of concrete-filled tubular stub columns (Strength and rotation capacity of concrete-filled tubular columns, Part 1). *Journal of Structural and Construction Engineering*, 468, 183-191.
- [48] Yamamoto, T., Kawaguchi, J., & Morino, S. (2002). Experimental study of the size effect on the behaviour of concrete filled circular steel tube columns under axial compression. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 561, 237-244.
- [49] Yu, Z., Ding, F., & Lin, S. (2002). Researches on behavior of high-performance concrete filled tubular steel short columns. *Journal of Building Engineering*, 23, 41-47.
- [50] Han, L.H., & Yao, G.H. (2003). Behaviour of concrete-filled hollow structural steel (HSS) columns with pre-load on the steel tubes. *Journal of Constructional Steel Research*, 59, 1455-1475.
- [51] Zhang, S., & Wang, Y. (2004). Failure modes of short columns of high-strength concrete filled steel tubes. *China Civil Engineering Journal*, 37, 1-10.
- [52] Han, L.H., Yao, G.F., & Zhao, X.L. (2005). Experiment behavior of thin-walled hollow structural steel (HSS) stub columns filled with self-consolidating concrete (SCC). *Journal of Constructional Steel Research*, 61, 124-169.
- [53] Kang, H.S., Lim, S.H., Moon, T.S., & Stiemer, S.F. (2005). Experimental study on the behavior of CFT stub columns filled with PCC subject to concentric compressive loads. *Steel and Composite Structures*, 5, 17-34.
- [54] Tan, K. (2006). Analysis of formulae for calculating loading bearing capacity of steel tubular high strength concrete. *Journal of Southwest University of Science and Technology*, 21, 7-10.
- [55] Yu, Z.W., Ding, F.X., & Cai, C.S. (2007). Experimental behavior of circular concrete-filled steel tube stub columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 63, 165-174.
- [56] Tao, Z., Han, L.H., & Wang, L.L. (2007). Compressive and flexural behaviour of CFRP-repaired concrete-filled steel tubes after exposure to fire. *Journal of Constructional Steel Research*, 63, 1116-1126.
- [57] Yu, Q., Tao, Z., & Wu, Y.X. (2008). Experimental behaviour of high performance concrete-filled steel tubular columns. *Thin-Walled Structures*, 46, 362-370.

- [58] Lam, D., & Gardner, L. (2008). Structural design of stainless steel concrete filled columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 64, 1275-1282.
- [59] Huo, J., Huang, G., & Xiao, Y. (2009). Effects of sustained axial load and cooling phase on post-fire behaviour of concrete-filled steel tubular stub columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 65, 1664-1676.
- [60] Lee, S.H., Uy, B., Kim, S.H., Choi, Y.H., & Choi, S.M. (2001). Behavior of high-strength circular concrete-filled steel tubular (CFST) column under eccentric loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 67, 1-13.
- [61] Abed, F., Al Hamaydeh, M., & Abdalla, S. (2013). Experimental and numerical investigations of the compressive behavior of concrete filled steel tubes (CFSTs). *Journal of Constructional Steel Research*, 80, 429-439.
- [62] Chang, X., Fu, L., Zhao, H.B., & Zhang, Y.B. (2013). Behaviors of axially loaded circular concrete-filled steel tube (CFT) stub columns with notch in steel tubes. *Thin-Walled Structures*, 73, 273-280.

Araştırma Makalesi - Research Article

Prediction and Analysis of Weather Parameters with Global Horizontal Solar Irradiance Using LSTM-CNN Based Deep Learning Technique

LSTM-CNN Tabanlı Derin Öğrenme Tekniği Kullanılarak Küresel Yatay Güneş Radyasyonu ile Hava Durumu Parametrelerinin Tahmini ve Analizi

Sercan Yalçın^{1*}, Münür Sacit Herdem²

Geliş / Received: 16/12/2021

Revize / Revised: 03/06/2022

Kabul / Accepted: 08/06/2022

ABSTRACT

Predicting global horizontal solar irradiance (GHSI) as well as important climate parameters plays an important role in energy management and resource planning of photovoltaic panels. To further benefit from solar energy, it is necessary to obtain information regarding future values by frequently analyzing and predicting such time series parameter data. Hence, predicting long-term solar irradiance data is a challenging task. For these purposes, in this work, a hybrid method, with modeling of Long Short-Term Memory (LSTM) and Convolutional Neural Network (CNN) deep neural networks, is proposed to ensure the most accurate prediction of such data. The GHSI as well as temperature, relative humidity, and wind speed data obtained in the Jordan valley are used in the forecasting methodology. In the CNN block of the proposed deep architecture, the input parameters are passed through the convolution, pooling, and flattening layers, and the outputs are forwarded to the LSTM data input. With this method, it is aimed to make more effective and accurate estimations. The proposed method has been compared according to Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Deviation Error (MADE), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) error performance criteria in order to reveal the difference from other methods. The proposed method produces superior results compared to other algorithms, especially in GHSI estimation.

Keywords- *Global Solar Irradiance, Deep Neural Networks, Long Short Term Memory, Convolutional Neural Network*

ÖZ

Önemli iklim parametrelerinin yanı sıra küresel yatay güneş ışınımının (GHSI) tahmin edilmesi, fotovoltaik panellerin enerji yönetimi ve kaynak planlamasında önemli bir rol oynamaktadır. Güneş enerjisinden daha fazla yararlanmak için, bu tür zaman serisi parametre verilerinin sıklıkla analiz edilmesi ve tahmin edilmesi yoluyla gelecek değerler hakkında bilgi elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, uzun vadeli güneş ışınımı verilerini tahmin etmek zorlu bir iştir. Bu amaçlarla, bu çalışmada, bu tür verilerin en doğru tahminini sağlamak için Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) ve Evrimsel Sinir Ağı (CNN) derin sinir ağlarının modellenmesi ile hibrit bir yöntem önerilmiştir. Ürdün vadisinde elde edilen GHSI ve sıcaklık, bağıl nem ve rüzgâr hızı verileri tahmin metodolojisinde kullanılır. Önerilen derin mimarinin CNN bloğunda, giriş parametreleri evrimsel, havuzlama ve düzleştirme katmanlarından geçirilir ve çıkışlar LSTM veri girişine iletilir. Bu yöntemle daha etkin ve doğru

^{1*}Corresponding author contact: svancin@adiyaman.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-1420-2490>)

Department of Computer Engineering, Adiyaman University, Faculty of Engineering, Adiyaman, Turkey

²Contact: herdem@adiyaman.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-0079-0041>)

Department of Mechanical Engineering, Adiyaman University, Faculty of Engineering, Adiyaman, Turkey

tahminler yapılması hedeflenmektedir. Önerilen yöntem, diğer yöntemlerden farkını ortaya çıkarmak için RMSE, MADE ve MAPE hata performans kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntem, özellikle GHSI tahmininde diğer algoritmalara göre daha üstün sonuçlar vermektedir.

Anahtar Kelimeler- Küresel Güneş Işınımı, Derin Sinir Ağları, Uzun Kısa Süreli Bellek, Evrişimli Sinir Ağı

I. INTRODUCTION

There are serious undesired effects of climate change to our world and society. Thus, it is important to reach the Paris Climate Agreement goals. Increasing implementation of solar energy to use it for different applications is crucial in order to reach the Paris Climate Agreement goals. Solar energy can be used for various applications including: (1) producing electricity for remote communities [1], (2) rooftop electricity production [2], (3) large-scale power generation, and (4) green-hydrogen production [4].

One of the most critical challenges with regards to the implementation of solar energy usage is its fluctuating nature. Therefore, weather prediction and forecasting of solar radiation are two important applications for effective integration of solar energy into the current energy infrastructure. Artificial Intelligence (AI) techniques are important tools to predict weather and solar radiation [5]. There have been numerous published studies regarding prediction of weather and solar radiation in the recent years.

Scher and Messori implemented deep learning with artificial convolutional neural networks to predict weather forecast uncertainty [6]. They used past weather data to train their machine learning models. Chantry et al. presented an outline related to the advantages, challenges and motivations of applying machine learning techniques to improve prediction of weather and climate [7]. Schultz et al. prepared a paper to discuss whether deep learning approaches can replace existing numerical weather models [8]. Moosavi et al. showed how machine learning techniques help to quantify uncertainty in numerical weather prediction models [9]. Fouilloy et al. applied eleven statistical and machine learning tools to predict hourly solar irradiation [10]. The tools used in [10] are listed as: (1) persistence, (2) smart persistence, (3) auto regressive moving average (ARMA), (4) Multilayer perceptron (MLP), (5) Regression tree (RT), (6) Boosted RT, (7) Bagged RT, (8) Pruned RT, (9) Random Forest, (10) Gaussian process, and (11) Support vector regression (SVR). Yagli et al. evaluated 68 machine learning algorithms for hourly solar forecasting by using three sky conditions, seven locations, and five climate zones in the USA [11]. They used R caret package to train all models. Feng et al. applied and compared various empirical and machine learning models to predict global solar radiation [12]. They used only air temperature as inputs to develop their machine learning and empirical models. Zhou et al. prepared a comprehensive review on global solar radiation prediction with machine learning models [13]. They reviewed 232 papers to cover all important aspects of machine learning models to predict global solar radiation.

Analyzing global horizontal irradiance (GHSI) data based on important weather parameters such as air temperature, relative humidity, and wind speed will be an interesting approach for using photovoltaic solar plants [14,15]. Accordingly, it is necessary to examine the effects and correlation of temperature on GHSI and to put forward energy management plans accordingly [16,17]. Therefore, making long-term predictions in GHSI and other climate data is a challenging task. In this study, we aim to predict climate and GHSI data by using LSTM and CNN deep learning methods together. In this study, we propose a Long Short-Term Memory (LSTM)-CNN deep network method to estimate the climate parameters of temperature, relative humidity, and wind speed with GHSI data. The data used in this study is the data from 2017 obtained in the Jordan Valley. In the CNN block, the input data is passed through layers of convolution, pooling, and flattening. After that, the data is trained, and optimal features are extracted in the LSTM block. Estimation results are created as a result of comparing the output data with the actual data. Based on these estimation data, the proposed method was compared with other methods by RMSE, MADE, and MAPE metrics.

The remainder of the paper is as follows. Section 2 presents the literature review. Section 3 presents the proposed method with constructing the LSTM-CNN based deep neural network. Section 4 presents the experimental results of the study. We conclude the study by mentioning the future plans in Section 5.

II. LITERATURE REVIEW

Recently, meteorological satellites are also used for the optimization of all solar fields. Cano et al. (1987) carried out one of the earliest studies on solar radiation estimations using the pixels of satellite images (cloud index (n)) taken by the weather satellite [18]. The name is the same HELIOSAT Method. This method or its modified versions are widely used by many research teams [19,20] Apart from the global solar radiation, the estimation of diffuse solar radiation components has also been very important for photovoltaic (PV) modules. Rusen et al. (2020) studied to compare and evaluate the validity of global and diffuse estimation methods for nine locations in Turkey. The satellite-based estimation methods (HELIOSAT, Meteonom, and PVGIS) mentioned in the literature were used to estimate global and diffuse radiation. These selected methods were statistically tested with accurate ground measured data. For HELIOSAT, the global radiation is varying -0.02 and 0.03 , and 0.010 and 0.035 , respectively, Relative MBE and Relative RMSE [21]. In addition, it is known that bright sunshine hours have been measured for more than 100 years all over the world. The estimation of the parameters extraction of the solar models and global solar radiation can be found using this bright sunshine hour and satellite parameters for a long time period. This coupled (hybrid) method approach is a combination of both ground and satellite data [22]. In this method, the satellite images and ground measurements of bright sunshine hours are taken into account to estimate the global solar radiation for photovoltaic (PV) modules. Angstrom models and ground measured daily global solar irradiation by using regressions and error analyses. In a work [23], the current version of the satellite-based HELIOSAT method and ground-based linear Ångström–Prescott type relations are used in combination.

III. PROPOSED METHOD

In this study, we propose an LSTM and CNN based deep learning model to predict weather parameters with GHSI. In the proposed LSTM-CNN model, the number of input neurons and layers, the number of hidden layers and the convolution layer are designed for making predictions of the weather and GHSI parameter data.

Deep Neural Networks (DNNs) are learning networks inspired by the interaction and communication of neurons with layers in the human brain. DNNs are able to process the observed data in the form of digital vectors, including images, audio, text and/or time series [24,25]. DNNs are complex networks consisting of many neurons interacting with one another. A DNN is a network architecture that can operate in parallel, consisting of multiple input, hidden, and output layers [26]. Figure 1 shows a DNN model structure.

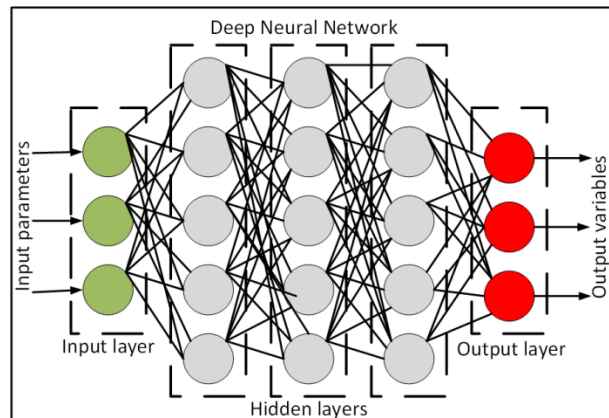


Figure 1. The conventional DNN model structure

Recurrent Neural Networks (RNNs) are developed versions of DNNs, one output of which is passed to the input of a feed-forward network, taking into consideration past values. The past output is calculated and included in the next input creating learning functional data. The output data consists of an iterative series of iterations that facilitate learning without memorization [27-29].

RNNs, like feed-forward DNNs, do not simply process data inputs and transfer them to the next state. At the same time, some components learned in their internal memory are not forgotten [30]. Moreover, LSTM networks are RNNs in which RNNs have been developed and their layers and the way their neurons work are different. In this way, the past learned data in the memory is prevented from being forgotten and makes it easier to remember when necessary. In addition, the disappearing gradient problem is also eliminated. An LSTM is often used to process, classify, and estimate time series data with unknown time delays [31]. There are three gates in the

internal structure of an LSTM network: input, forget and output gates [32]. An LSTM model architecture is presented in Figure 2.

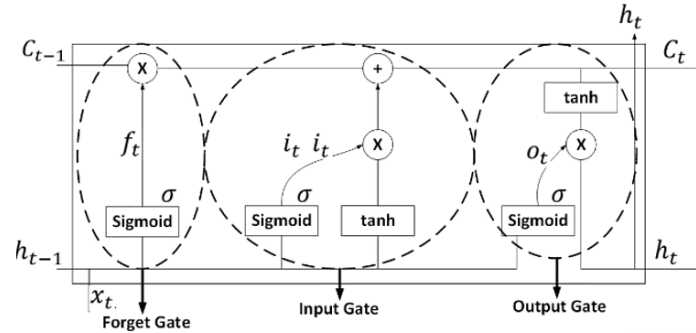


Figure 2. An LSTM architecture block

The input gate determines which values must be given from the input to replace the memory in the LSTM. The input gate i_t is defined as Equation (1).

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (1)$$

where x_t is the input at time t , h_{t-1} is the output at time $(t - 1)$, W_i and b_i are weight vector and bias of the input gate, respectively. Also, sigmoid function σ decides which of 0 and 1 will pass.

In forget gate, it is determined which unlearned data will be forgotten from the block. This decision is made by the sigmoid function. This function evaluates both the previous h_{t-1} state and the content input x_t . The expression of the forget gate f_t is given as Equation (2).

where C_t is the cell state, W_f and b_f are weight vector and bias for forget gate, respectively.

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (2)$$

When determining the output h_t of the output gate o_t in LSTM, input x_t and memory are used to determine the output h_t . The output gate o_t is given as Equation (3).

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (3)$$

where W_o and b_f are weight vector and bias for output gate, respectively.

$$\hat{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (4)$$

\hat{C}_t is the memory cell state at time t , shown in Equation (4). Here, W_c and b_c are weight vector and bias the memory cell, respectively. Then, \hat{C}_t memory cell returns a number between 0 and 1 for each number in the previous cell state C_{t-1} , as given in Eq.(5).

$$C_t = C_{t-1} * f_t + i_t * \hat{C}_t \quad (5)$$

Also, the \tanh function of C_t assigns a weight value to the values passed from -1 to 1 to determine its priority, it is multiplied by the sigmoid output o_t as given in Equation (6).

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (6)$$

CNNs are deep feed forward neural networks. The model of a CNN includes a convolution layer, a pool layer, and a fully connected layer [33]. Then the model runs an activation function to address the classification or estimation problem. In the convolution layer, the feature maps of the previous layer are convoluted with a convolution kernel. The resulting output feature maps are processed by an enable function [34]. The formulation of the convolution layer can be represented by Equation (7).

$$x_j^l = f(\sum_{i \in m_j} x_i^{l-1} * k_{ij}^l + b_j^l) \quad (7)$$

where x_j^l and x_i^{l-1} denote the j th and i th output feature maps of the L th and $(L - 1)$ th layers, respectively. Moreover, m_j denotes the input maps selection, k_{ij}^l denotes the weights between the i th input map and the j th

output map, * denotes the operation of the convolution, b_j^L denotes the bias factor, and $f()$ represents the rectified linear unit activation function (ReLU) [35,36]. The pooling layer is used to minimize the number of CNN parameters. The pooling layer is determined by computing the average or maximum pooling value of a given area in a feature map. The formulation of the pooling layer is given as Equation (8).

$$x_j^L = f(\partial_j^L \text{down}(x_j^{L-1}) + b_j^L) \quad (8)$$

where $\text{down}()$ represents the max pooling subsampling function, x_j^{L-1} denotes the j th input feature map of the L th layer, and b_j^L is the bias factor. As a result, measurements of the convolutional and pooling layers are performed. The fully connected layer then computes the final output vector as given in Equation (9).

$$x^L = f(w^L x^{L-1} + b^L) \quad (9)$$

where x^L represents the final output vector, x^{L-1} represents the input vector, w^L represents the weights between the $(L - 1)$ th layer and the L th layer, and b^L represents the bias factor.

Input local connections are defined by convolutional layers. However, the pool layer reduces the computation corresponding to the target variable. Increasing the number of convolutional layers N_c uses many cores to generate the same number of invariant feature maps. These operations are executed for data from previous layers. Although the degree of information extraction is deeper, the number of neurons $kN_i, i \in N_c$ in each convolution layer and the size of the kernels $kS_i, i \in N_c$ are important for detail. Therefore, the feature expression with a scale range is more precise. The pooling layer after the convolution layer succeeds in minimizing the input size by subsampling defined by $pS_i, i \in N_c$. Feature maps are obtained and then integrated into a fully connected network [37].

We can explain our proposed LSTM-CNN based prediction algorithm in 6 steps.

Step (1): Input data: We input the required data for training of LSTM-CNN.

Step (2): Data standardization: A method with z -score standardization is applied to standardize the input data. This is required for training the model better. This is shown in the following Equations (10) and (11).

$$y_i = \frac{x_i - x'}{s} \quad (10)$$

$$x_i = y_i * s + x' \quad (11)$$

where y_i is the standardized value, x_i is the input data, x' and s are average and standard deviation of the input data, respectively.

Step (3): Network initialization: We initialize the LSTM-CNN layer's weights and biases.

Step (4): Calculation of the CNN layer: The input data are operated in the convolution, pooling, and flattening layers in the CNN layer. This way we can execute the input data feature extraction and obtain the output value.

Step (5): LSTM layer configuration: For effective climate parameter estimation, it is required to select appropriate input data. In this study, we design the LSTM layer and the number of neurons adaptive to our study. In the proposed model, 4-level is the LSTM learning model with N-1, N-2, N-3, and N-4 input neurons, and LSTM layers with 10 hidden units. In this case, all four input signals are utilized for training. The output h_t can be expressed as in Equation (12).

$$h_t \leftarrow 4 - L_i(x_j) - 1 \quad (12)$$

In the proposed hybrid model, an LSTM model with four layers and ten hidden units is proposed, $x_j = 10$, where $j=1$ and $L_i = 4$, where $i = 1$. In this model, the output node is set to 1. In the input layer, four different input nodes are defined as temperature, relative humidity, wind speed, and GSHI values. While modeling the LSTM network, the number of layers and the number of hidden units are chosen adaptively. After the layers and neurons are determined, the number of layers i is assigned from 1 to k . Next, the i is set to the fixed value where the error metrics are minimized. The neuron number j is assigned from 1 to m for $i = 1$. These operations are also valid for $k - 1$ layers.

LSTM block cells eliminate the possibility of memorization in the data that can occur as a result of long-term learning. The number of LSTM cells is defined according to how the proposed model predicts the climate parameters. Batch size is an important parameter that affects the training efficiency of the LSTM neural network, which determines the number of samples to be detected over the deep network before the internal parameters of the LSTM model are updated. The data is divided into groups of several small blocks and at the same time the neural network is trained for multiple stages due to the fact that these networks work faster with mini-groups. On the other hand, with a very small batch size, the parameter value becomes harder to estimate and requires more memory space in the LSTM when a larger batch size is assigned in the network.

Step (6): Output data: At this stage, the estimation of the output data is made, and the error calculation is executed. We analyze the proposed model based on the RMSE, MADE, and MAPE metrics in this work. The RMSE usually measures the differences between samples or all data values forecasted by a model or an estimator and the observed values. The RMSE of forecasted values x'_t for t times a regression's dependent variable x_t with variables observed over T sample times, is computed for T different samples. The RMSE calculation is given as Equation (13). The lower the RMSE value, the more successful the data estimation is expected. Therefore, when the high performance of the proposed models is achieved, the RMSE values should be considerably lower. The closer the RMSE, MADE, and MAPE values are to 0, the better predictive performance will be [37].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (x_t - x'_t)^2}{T}} \quad (13)$$

MADE prevents the problem where positive and negative errors in estimation dampen each other. The calculation of the MADE is presented as given in Equation (14).

$$MADE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |x_t - x'_t| \quad (14)$$

MAPE computes the deviation between the predicted and the observed data at the same time, it is based on the correlation between the error and the true value that show the prediction accuracy. The formulation of the MAPE is presented as given in Equation (15).

$$MAPE = \frac{100}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{x_t - x'_t}{x_t} \right| \quad (15)$$

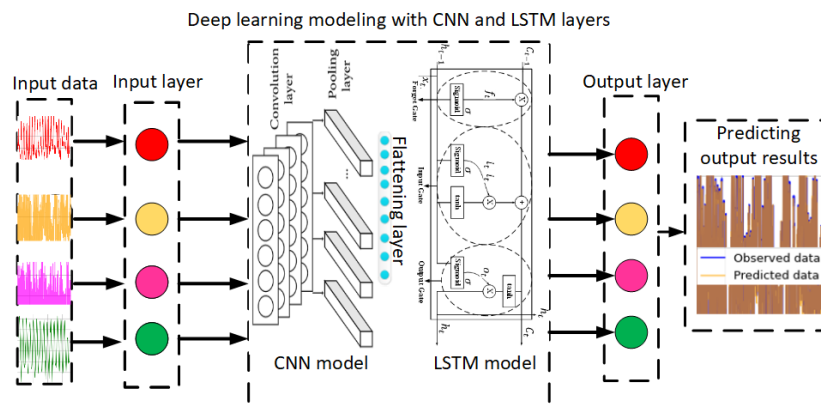


Figure 3. The block diagram of the proposed scheme

Figure 3 shows the block diagram of the proposed scheme. Neurons in the input layer are used for input data for temperature, relative humidity, wind speed, and GHSI. It is important to note that the input is rendered from the CNN model and then in the flattening layer before being transferred to the LSTM block. The deep learning model is modeled by a combination of LSTM and CNN architecture, and the data goes through the training and testing steps. Finally, the prediction results are calculated from the output layer.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

To implement the applications of this study, we performed the following installations. This study is closely related to open-source software installations. We utilized the Python software that comes with Anaconda 3 distribution. Also, some Python scripts were compiled via PyCharm IDE.

A. Study Data

The dataset used in this study was taken from reference [38]. All data is publicly accessible, and the interested readers can access the data used in this study from reference [38]. The authors in [38] used calibrated, high accuracy sensors to collect the data. The data includes average ambient temperature (°C), minimum ambient temperature (°C), maximum ambient temperature (°C), average wind speed (m/min), minimum wind speed (m/min), maximum wind speed (m/min), relative humidity (%), and solar irradiance (W/m²).

We focus on the cities of Umman in Jordan for study area [38]. Figure 4 shows this area of Jordan taken from Google maps.



Figure4. The Jordan Valley from Google Maps

We used 37,610 of these data for training and the remaining 9,403 for testing in long-term forecasting.

B. Installing the Proposed LSTM-CNN Deep Network

We used a function to operate the LSTM-CNN Tensor Flow Keras model with layers. The model uses a neuron for the output layer because we are estimating a real-valued number. The DNN utilizes the ReLU activation function which can take its own value in the range of 0 to maximum value. Also, the proposed model uses the Adam optimizer. Table 1 shows some of the parameters used in the LSTM-CNN based proposed method.

Table 1. Parameters of the LSTM-CNN based proposed method

Parameters	Value
Number of hidden units in LSTM layer	64
Activation function of the LSTM layer	tanh
Convolution layer filters	32
Convolution layer kernel size	1
Activation function of the convolution layer	tanh
Convolution layer padding	same
Pooling layer pool size	1
Pooling layer padding	same
Activation function of the pooling layer	ReLu
Time step, embedding size	12
Batch size	16
Learning rate	0.002
Optimizer	Adam
Loss function	Mean absolute error
Number of Epochs	500

In this part of the study, we model the average temperature, relative humidity, wind speed, and GHSI data of Jordan Valley. We used 80% of the total 47,013 data for each climate parameter with GHSI for training and the remaining 20% for testing. We used the first 37,610 data in the data set for training and the remaining 9,403 values for testing.

C. Prediction of Temperature Data

In this section, the temperature data received from the Jordan Valley is analyzed. Figure 5 plots the temperature data for training and testing. We plot the training data in blue and the testing data in red. This distinction is marked by a black line. Temperature values are given in Celsius as in the data set. We understand that the temperature in Umman normally ranges from 5°C to 45°C throughout the year, rarely below 3°C and above 50°C. After running the proposed method, the predicted temperature data model is given in Figure 6. Predictive data model was obtained. Figure 7 shows the comparison of the observed and predicted temperature data. From these results, it is understood that with the proposed CNN-LSTM model, the observed and the predicted values produce very close results. In other words, the estimation error rate is minimal.

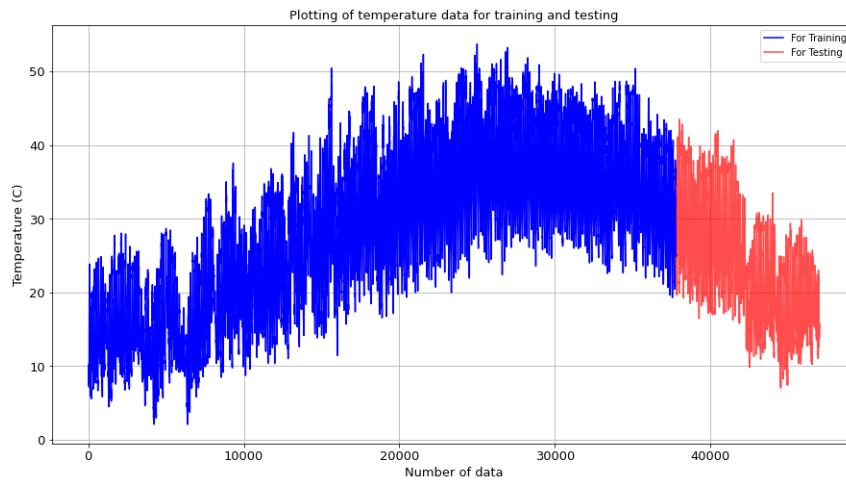


Figure 5. Plotting of temperature data for training and testing

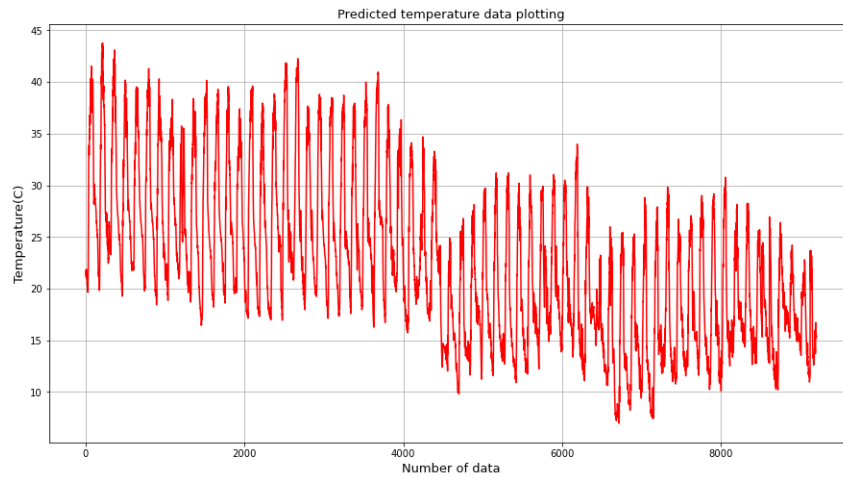


Figure 6. Predicted temperature data plotting

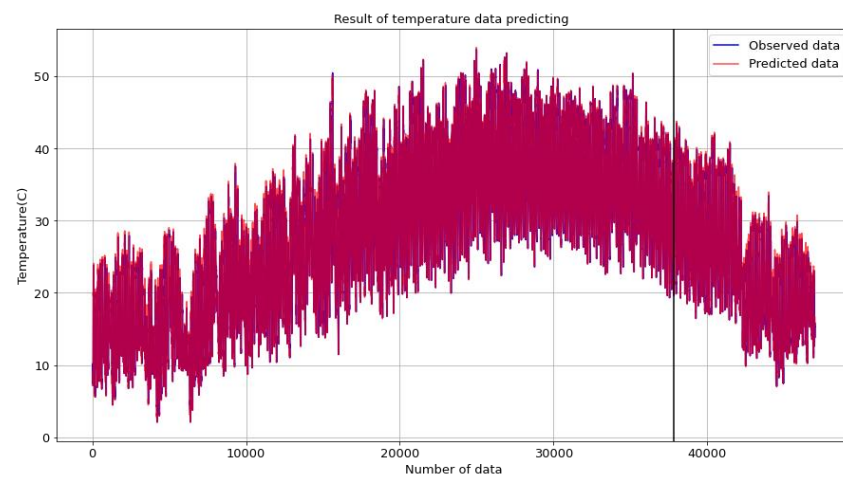


Figure 7. Observed and predicted temperature data comparison

D. Prediction of Relative Humidity Data

In this section, the relative humidity data received from the Jordan Valley is analyzed. Figure 8 shows the relative humidity data for training and testing. We plot the training data in blue and testing data in orange. Humidity values are given in percentage (%) as in the data set. The relative humidity in Umman normally ranges from 20% to 100% throughout the year and rarely falls below 20%. With the proposed method, the predicted humidity data model is given in Figure 9. Figure 10 illustrates the comparison of the observed and predicted relative humidity data. It appears that the forecast data model was well suited to the real data. The accuracy of the estimation is increased by decreasing the error rate. This resulted from the layer and neuron selection structure of the LSTM-CNN based proposed model and the training model.

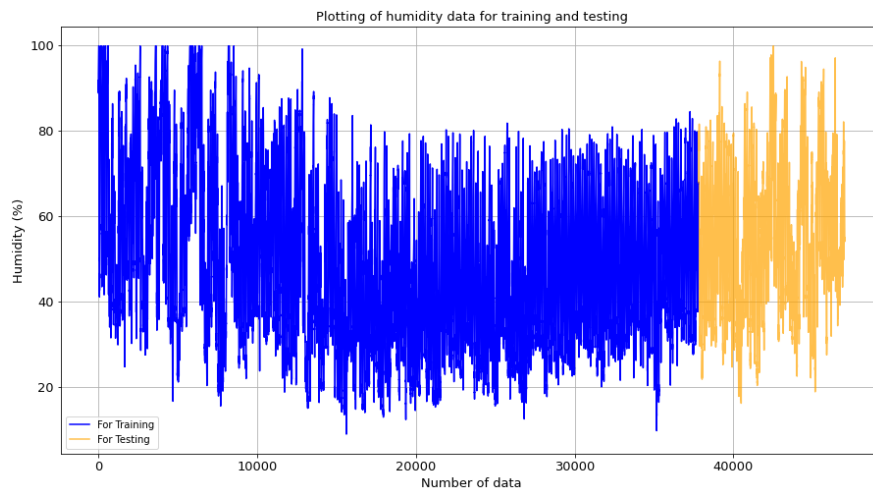


Figure 8. Plotting of humidity data for training and testing

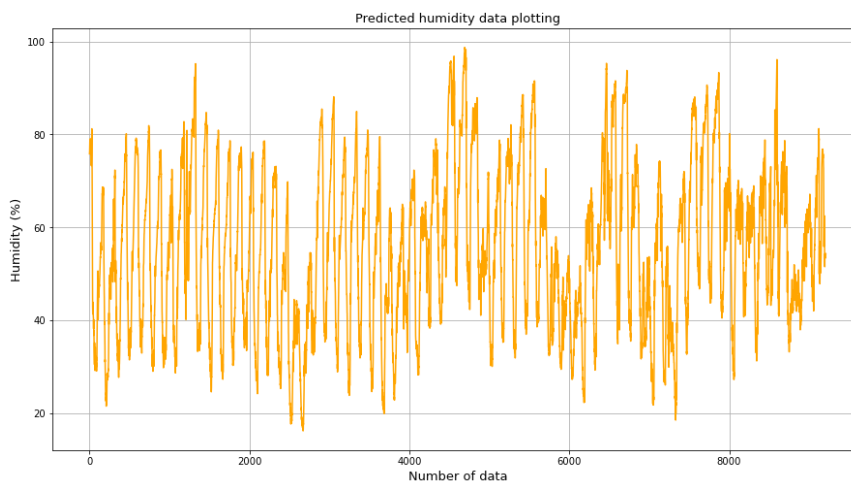


Figure 9. Predicted humidity data plotting

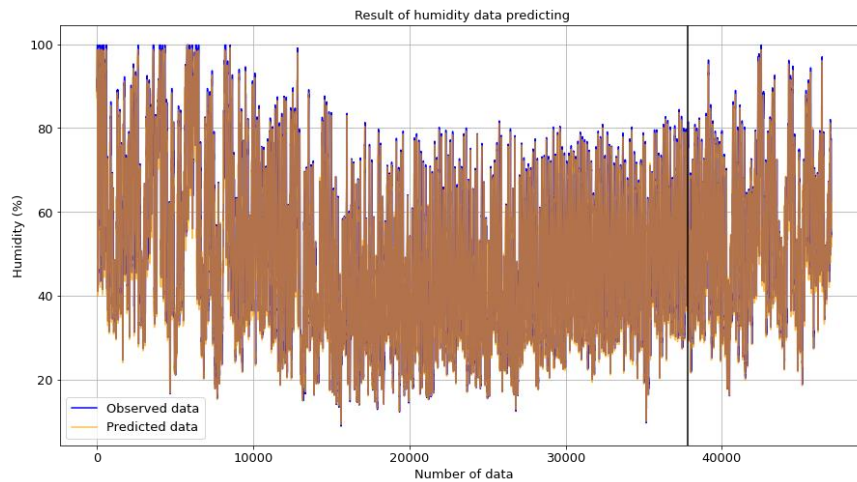


Figure 10. Observed and predicted humidity data comparison

E. Prediction of Wind Speed Data

In this section, the wind speed data received from the Jordan Valley is analyzed. As it is known, wind speed is significantly affected by the air temperature and pressure difference between two points. In the data set, wind speed is recorded in m/s. Figure 11 demonstrates the wind speed data for training and testing. We plot the training data in blue and testing data in magenta. As can be seen in Figure 11, the wind speed generally varies between 0 and 12 m/s throughout the year and rarely rises above 25 m/s. With the proposed method, the predicted wind speed data model is given in Figure 12. Figure 13 illustrates the comparison of the observed and predicted wind speed data. It is critical to note that some values in the prediction model fell below 0. This certainly reflects the errors present. Although there are prediction errors in some data points, it is observed that the estimation of results in general is quite successful.

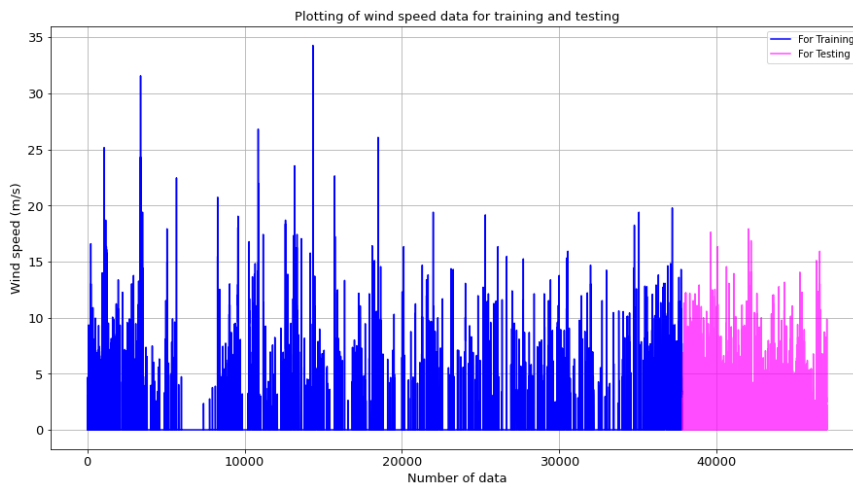


Figure 11. Plotting of wind speed data for training and testing

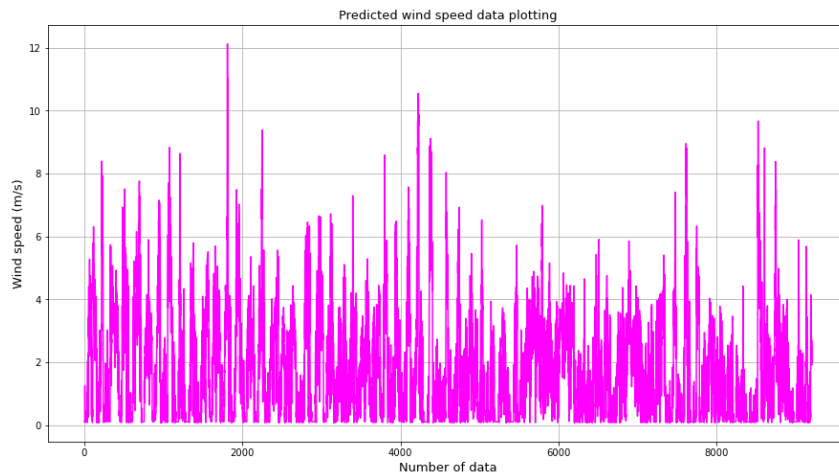


Figure 12. Predicted wind speed data plotting

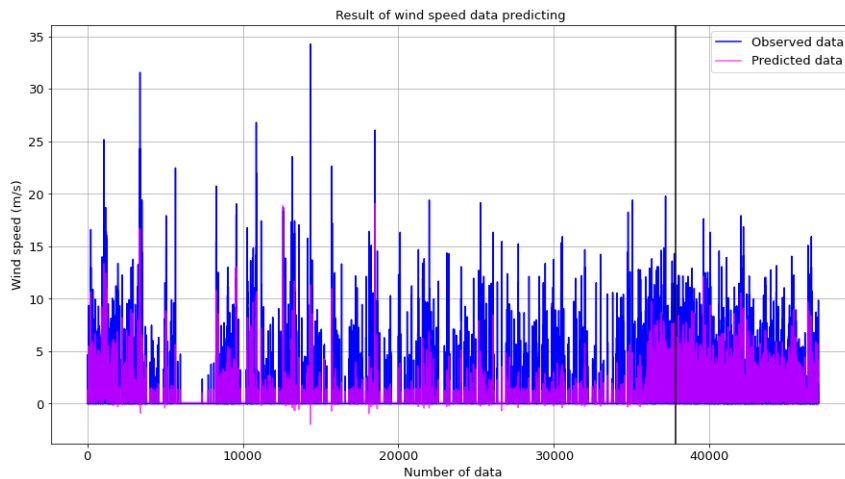


Figure 13. Observed and predicted wind speed data comparison

F. Prediction of Global Horizontal Irradiance Data

The clarity index is defined as the ratio between the values of the spherical radiation at ground level G on the horizontal surface and the $GHSI$ of extraterrestrial spherical radiation [39]. The clarity index consists of the difference between the mean value of the daily maximum temperatures (T_{max}) and the mean value of the daily minimum temperatures (T_{min}) and can be estimated using Equation (16).

$$\frac{G}{GHSI} = K\Delta T^{0.5} \quad (16)$$

where $\Delta T = T_{max} - T_{min}$. The empirical parameter K was fixed at 0.17 for arid and semiarid climates, whereas latterly proposed the use of $K = 0.16$ and 0.19 for interior and coastal regions, respectively. In the data set, $GHSI$ is recorded in W/m^2 . Figure 14 shows the $GHSI$ data for training and testing. We plot the training data in blue and testing data in green. As seen in Figure 14, the $GHSI$ generally varies between 0 and $1040 W/m^2$ throughout the year and rarely rising above $1200 W/m^2$. With the proposed method, the predicted $GHSI$ data model is given in Figure 15. Figure 16 illustrates the comparison of the observed and predicted $GHSI$ data. The boundary between training and testing splits is denoted by the vertical black line. There are some obvious errors in the model forecasting. These may be corrected with suitable hyperparameter tuning operations.

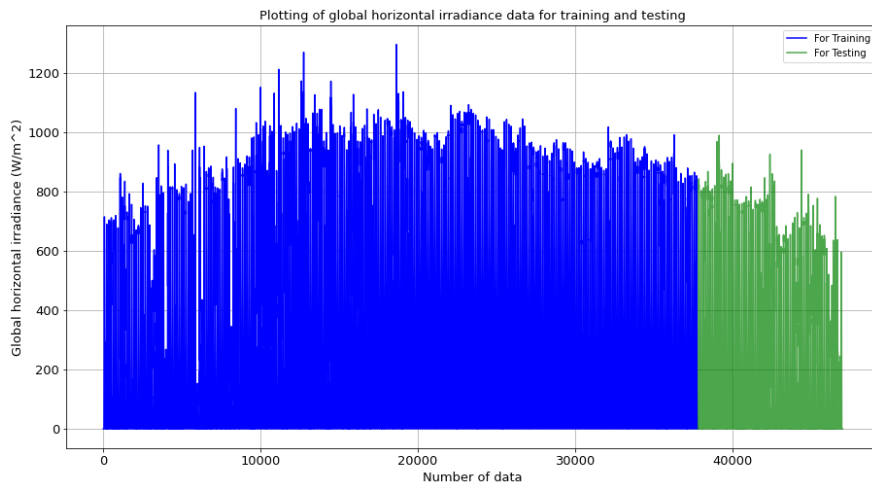


Figure 14. Plotting of the GHSI data for training and testing

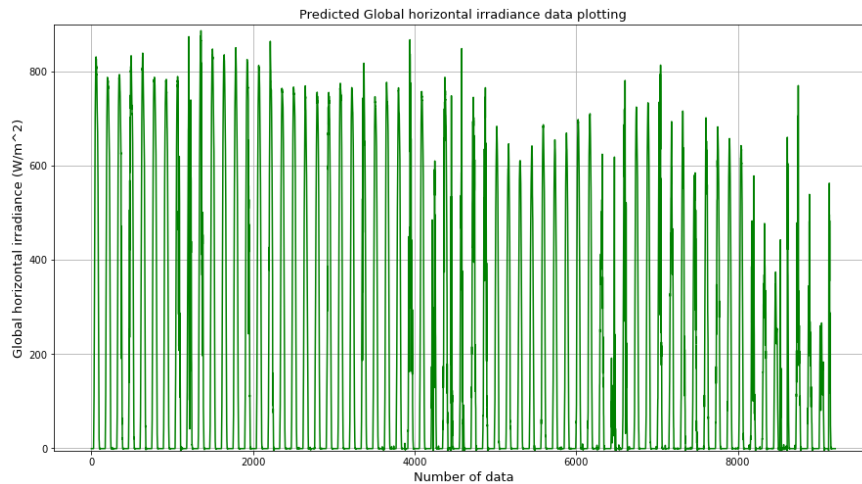


Figure 15. Predicted GHSI data plotting

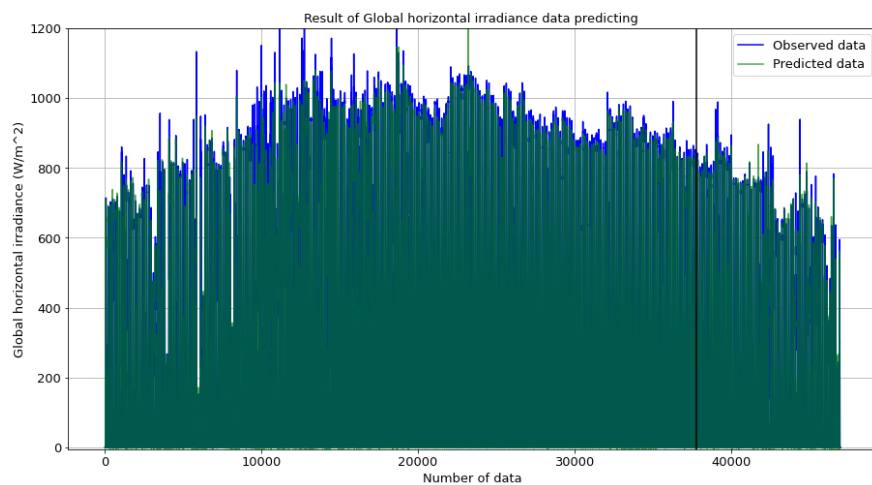


Figure 16. Observed and predicted GHSI data comparison

The proposed LSTM-CNN model has been compared in performance with standard RNN, standard LSTM, and LSTM-GRU models. The algorithmic complexity of the proposed model is slightly higher than other methods due to the CNN layers. However, accurate and timely estimation of parameter values avoids this

complexity. Table 2 presents the performance results according to RMSE, MADE, and MAPE values for all climatic parameters of Umman in Jordan. From Table 2, we observed that with the proposed LSTM-CNN model, the RMSE, MADE, and MAPE values for temperature are 0.87, 0.65, and 0.17, for relative humidity 1.38, 0.93, and 0.47, for wind speed 3.34, 1.59, and 0.84, and for GHSI 0.61, 0.34, and 0.02, respectively. That is, when compared to other methods, minimal errors were achieved with the proposed methodology. It is important to note that as the number of epochs increases, the RMSE and other metrics decrease and the prediction performance improves. However, it is clear that further refinement and optimization are required for this climate parameter data.

Finally, the RMSE, MADE, and MAPE values obtained are lower than the other LSTM and RNN derivatives compared, and when deep network algorithms are used, it shows that there is a minimal difference between the observed values and the predicted values when estimating the climate parameters with GHSI variables. From these results, we understood that high achievement is shown in climate parameter and GHSI estimations. The reason why the results are successful and give the least errors is that we designed the LSTM-CNN network modeling in accordance with current neural network technologies for the proposed approach.

Table 2. Comparison of the error values in each climate parameter

Weather parameters with global horizontal irradiance variables	Error metrics	Models			
		Standard RNN	Standard LSTM	LSTM-GRU	LSTM-CNN based proposed method
Temperature	RMSE	6.45	4.82	3.38	0.87
	MADE	4.37	2.42	1.87	0.65
	MAPE	2.32	1.07	0.82	0.17
Relative humidity	RMSE	8.42	5.28	4.28	1.38
	MADE	7.65	3.84	2.27	0.93
	MAPE	3.53	1.71	1.16	0.47
Wind speed	RMSE	11.48	8.51	5.64	3.34
	MADE	8.34	4.62	2.13	1.59
	MAPE	3.85	2.38	1.28	0.84
Global horizontal solar irradiance (GHSI)	RMSE	5.12	4.62	3.14	0.61
	MADE	4.38	2.29	1.53	0.34
	MAPE	2.23	0.85	0.54	0.02

V. CONCLUSION

In this paper, we propose an LSTM-CNN deep learning framework to predict the GHSI with weather hyperparameters. On the CNN side of the proposed model, the input data is processed with neurons in convolution, pooling, and flattening layers, respectively. After that, the training data is presented with LSTM input weight values. After passing through unique training and testing stages with LSTM input, forget and output layers, the inputs are transferred to the output layer. Estimation results are published by comparing the predicted values obtained with the calculated data. The proposed algorithm has been implemented in Python coding language and has been compared with existing LSTM and CNN based algorithms according to their RMSE, MADE, and MAPE performances. As can be seen from the results, the proposed method demonstrates the best performance with the

least amount of error rates. In future studies, we can propose deep learning models that can further reduce the error rate for GHSI and energy battery level estimation.

REFERENCES

- [1] Arriaga, M., Cañizares, C. A., & Kazerani, M. (2014). Northern lights: Access to electricity in Canada's northern and remote communities. *IEEE Power and Energy Magazine*, 12(4), 50-59.
- [2] Assouline, D., Mohajeri, N., & Scartezzini, J. L. (2018). Large-scale rooftop solar photovoltaic technical potential estimation using Random Forests. *Applied energy*, 217, 189-211.
- [3] Cabrera, P., Carta, J. A., Lund, H., & Thellufsen, J. Z. (2021). Large-scale optimal integration of wind and solar photovoltaic power in water-energy systems on islands. *Energy Conversion and Management*, 235, 113982.
- [4] Herdem, M. S., Mazzeo, D., Matera, N., Wen, J. Z., Nathwani, J., & Hong, Z. (2020). Simulation and modeling of a combined biomass gasification-solar photovoltaic hydrogen production system for methanol synthesis via carbon dioxide hydrogenation. *Energy Conversion and Management*, 219, 113045.
- [5] Ahmad, T., Zhang, D., Huang, C., Zhang, H., Dai, N., Song, Y., & Chen, H. (2021). Artificial intelligence in sustainable energy industry: Status Quo, challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 125834.
- [6] Scher, S., & Messori, G. (2018). Predicting weather forecast uncertainty with machine learning. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 144(717), 2830-2841.
- [7] Chantry, M., Christensen, H., Dueben, P., & Palmer, T. (2021). Opportunities and challenges for machine learning in weather and climate modelling: hard, medium and soft AI.
- [8] Schultz, M. G., Betancourt, C., Gong, B., Kleinert, F., Langguth, M., Leufen, L. H., ... & Stadler, S. (2021). Can deep learning beat numerical weather prediction?. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2194), 20200097.
- [9] Moosavi, A., Rao, V., & Sandu, A. (2021). Machine learning based algorithms for uncertainty quantification in numerical weather prediction models. *Journal of Computational Science*, 50, 101295.
- [10] Fouilloy, A., Voyant, C., Notton, G., Motte, F., Paoli, C., Nivet, M. L., ... & Duchaud, J. L. (2018). Solar irradiation prediction with machine learning: Forecasting models selection method depending on weather variability. *Energy*, 165, 620-629.
- [11] Yagli, G. M., Yang, D., & Srinivasan, D. (2019). Automatic hourly solar forecasting using machine learning models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, 487-498.
- [12] Feng, Y., Gong, D., Zhang, Q., Jiang, S., Zhao, L., & Cui, N. (2019). Evaluation of temperature-based machine learning and empirical models for predicting daily global solar radiation. *Energy Conversion and Management*, 198, 111780.
- [13] Zhou, Y., Liu, Y., Wang, D., Liu, X., & Wang, Y. (2021). A review on global solar radiation prediction with machine learning models in a comprehensive perspective. *Energy Conversion and Management*, 235, 113960.
- [14] Prieto, J.I., Martínez-García, J.C., & García, D. (2009). Correlation between global solar irradiation and air temperature in Asturias, Spain, *Solar Energy*, 83(7),1076-1085.
- [15] Malakar, S., Goswami, S., Ganguli, B. et al. (2021). Designing a long short-term network for short-term forecasting of global horizontal irradiance. *SN Applied Sciences*, 3, 477.
- [16] Jalali, S. M. J., Ahmadian, S., Kavousi-Fard, A., Khosravi, A. & Nahavandi, S. (2021). Automated Deep CNN-LSTM Architecture Design for Solar Irradiance Forecasting, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 1-12, 10.1109/TSMC.2021.3093519.
- [17] Zang, H., Liu, L., Sun, L., Cheng, L., Wei, Z., & Sun. G. (2020). Short-term global horizontal irradiance forecasting based on a hybrid CNN-LSTM model with spatiotemporal correlations, *Renewable Energy*, 160, 26-41.

- [18] Cano, D. et al. (1987). A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellites data. *Solar Energy, Elsevier*, 37(1), 31-39.
- [19] Rusen, S.E. (2018). Modeling and Analysis of Global and Diffuse Solar Irradiation Components Using the Satellite Estimation Method of HELIOSAT, *CMES-Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 115 (3), 327-343.
- [20] Rusen, S.E. (2018). Performance evaluation of a coupled method for the estimation of daily global solar radiation on a horizontal surface, *Atmósfera*, 31(4), 347-354.
- [21] Rusen S.E. & Konuralp, A. (2020). Quality control of diffuse solar radiation component with satellite-based estimation methods, *Renewable Energy, Elsevier*, 145(C), 1772-1779.
- [22] Rusen S.E., Hammer A. & Akinoglu B.G. (2013). Coupling satellite images with surface measurements of bright sunshine hours to estimate daily solar irradiation on horizontal surface, *Renewable Energy, Elsevier*, 55(C), 212-219.
- [23] Rusen S.E., Hammer A. & Akinoglu B.G. (2013). Estimation of daily global solar irradiation by coupling ground measurements of bright sunshine hours to satellite imagery, *Energy, Elsevier*, 58(C), 417-425.
- [24] Sarker, I.H. (2021). Deep Learning: A Comprehensive Overview on Techniques, Taxonomy, Applications and Research Directions. *SN Computer Science*, 2, 420.
- [25] Greff, K., Srivastava, R. K., Koutnik, J., Steunebrink, B.R., & Schmidhuber, J. (2017). LSTM: A Search Space Odyssey, *Transactions on Neural Networks and learning systems*, 1-12.
- [26] Kim, H., Ham, Y. G., Joo, Y. S. & Son, S. W. (2021). Deep learning for bias correction of MJO prediction. *Nature Communications*, 12, 3087.
- [27] Hanab, J. M., Ang, Y. Q. Malkawi, A., & Samuelson, H. W. (2021). Using recurrent neural networks for localized weather prediction with combined use of public airport data and on-site measurements, *Building and Environment*, 192, 107601.
- [28] Wang, K., Ma, C., Qiaoa, Y., Lua, X., Hao, W., & Dong, S. (2021). A hybrid deep learning model with 1DCNN-LSTM-Attention networks for short-term traffic flow prediction, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 583, 126293.
- [29] Bouktif, S., Fiaz, A., Ouni, A., & Serhani, M.A. (2020). Multi-Sequence LSTM-RNN Deep Learning and Metaheuristics for Electric Load Forecasting, *Energies*, 13, 391.
- [30] Hoang, D. T., Yang, Pr. L., Cuong, L. D. P., Trung, P. D., Tu, N. H., Truong, L. V. , Hien, T. T., & Nha, V. T. (2020). Weather prediction based on LSTM model implemented AWS Machine Learning Platform. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 8(5), 283-290.
- [31] Pei, J., Deng, L., Song, S., et al. (2019). Towards artificial general intelligence with hybrid tianjic chip architecture, *Nature*, 572 (7767), 106-111.
- [32] Gundu, V., & Simon, S. P. (2021). PSO–LSTM for short term forecast of heterogeneous time series electricity price signals, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12, 2375–2385.
- [33] Liu, W., Wang, Z., Zeng, N., Alsaadi, F. E., & Liu, X. (2021). A PSO-based deep learning approach to classifying patients from emergency departments, *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 12, 1939–1948.
- [34] Shao, B., Li, M., Zhao, Y. & Bian, G. (2019). Nickel Price Forecast Based on the LSTM Neural Network Optimized by the Improved PSO Algorithm, *Mathematical Problems in Engineering*, Article ID 1934796, 15 pages.
- [35] Ju, Y. Sun, G.Y. Chen, Q.H. Zhang, M. Zhu, H.X. & Rehman, M.U. (2019). A model combining convolutional neural network and Light GBM algorithm for ultrashort-term wind power forecasting, *IEEE Access* 7 28309e28318.
- [36] Lu, W., Li, J., Li, Y., Sun, A., & Wang, J. (2020). A CNN-LSTM-Based Model to Forecast Stock Prices. *Complexity*, vol. 2020, Article ID 6622927, 10 pages.
- [37] Gensler, A., Henze, J., Sick, B. & Raabe, N. (2016). Deep learning for solar power forecasting—An approach using autoencoder and LSTM neural networks, in Proc. *IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern. (SMC)*, Budapest, Hungary, 2016, 2858–2865.

- [38] Dalalaa, Z., Al-Addous, M., Alawneha, F. & Class, C.B. (2020). Environmental data set for the design and analysis of the Photovoltaic system in the Jordan Valley, *Data in Brief*, 31, 105794.
- [39] Richardson, C.W. (1985). Weather simulation for crop management models. *Trans. ASAE*, 28(5), 1602–1606.

Araştırma Makalesi–Research Article

Gaussian Bronze Lucas Numbers

Gauss Bronz Lucas Sayıları

Nusret Karaaslan^{1*}

Geliş / Received: 19/12/2021

Revize / Revised: 07/05/2022

Kabul / Accepted: 09/05/2022

ABSTRACT

The present work aims to introduce and study the Gaussian Bronze Lucas number sequence. Firstly, we define Gaussian Bronze Lucas numbers by extending the Bronze Lucas numbers. Then, we find the Binet formula and generating function for this number sequence. We also investigate some sum formulas and matrices related to the Gaussian Bronze Lucas numbers. Finally, we obtain some known equalities like Catalan, Cassini and d'Ocagne identities by considering the Binet formula of this sequence.

Keywords- Bronze Lucas Numbers, Gaussian Bronze Lucas Numbers, Generating Function, Binet Formula

ÖZ

Bu çalışmanın amacı Gauss Bronz Lucas sayı dizisini tanıtmak ve incelemektir. İlk olarak Bronz Lucas sayılarını genişleterek Gauss Bronz Lucas sayılarını tanımladık. Daha sonra bu sayı dizisi için Binet formülü ve üreteç fonksiyonunu bulduk. Ayrıca Gauss Bronz Lucas sayıları ile ilgili bazı toplam formülleri ve matrisleri araştırdık. Son olarak, bu dizinin Binet formülünü dikkate alarak Catalan, Cassini ve d'Ocagne özdeşlikleri gibi bilinen eşitlikleri elde ettik.

Anahtar Kelimeler- Bronz Lucas Sayıları, Gauss Bronz Lucas Sayıları, Üreteç Fonksiyonu, Binet Formülü

^{1*}Corresponding author contact: nusret5301@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-0244-1286>)
Kalkandere Dağdibi Secondary School, Rize, 53500, Turkey

I. INTRODUCTION

Recently, we have seen so many studies on the different number sequences. The most famous examples for number sequences are the Fibonacci, Lucas, Pell, Jacobsthal sequences etc, see [1-5] for details. In [1], the Fibonacci and Lucas number sequences are given recurrently by

$$F_0 = 0, F_1 = 1, F_n = F_{n-1} + F_{n-2} \quad (1)$$

$$L_0 = 2, L_1 = 1, L_n = L_{n-1} + L_{n-2} \quad (2)$$

respectively.

The Gaussian shapes of these number sequences have been a center of attention lately. Horadam defined the complex Fibonacci numbers in 1963. Since then, many authors investigated the Gaussian shapes of these sequences and their properties; see for example [6-16]. In [8], the Gaussian forms of the Fibonacci and Lucas number sequences are given recurrently by

$$GF_0 = i, GF_1 = 1, GF_n = GF_{n-1} + GF_{n-2} \quad (3)$$

$$GL_0 = 2 - i, GL_1 = 1 + 2i, GL_n = GL_{n-1} + GL_{n-2} \quad (4)$$

respectively.

On the other hand, the Bronze Fibonacci (sequence A006190 in [17]) and Bronze Lucas (sequence A006497 in [17]) number sequences are given by the following recursion formulas

$$B_0 = 0, B_1 = 1, B_n = 3B_{n-1} + B_{n-2}, n \geq 2 \quad (5)$$

$$BL_0 = 2, BL_1 = 3, BL_n = 3BL_{n-1} + BL_{n-2}, n \geq 2 \quad (6)$$

respectively.

Furthermore, Akbıyık and Alo [18] studied on the third-order Bronze Fibonacci numbers.

Also, Kartal [19] introduced the Gaussian Bronze Fibonacci sequence as follows:

$$GB_0 = i, GB_1 = 1; GB_n = 3GB_{n-1} + GB_{n-2}. \quad (7)$$

Additionally, the generating function of the Gaussian Bronze Fibonacci sequence is

$$g(x) = \frac{x + i(1 - 3x)}{1 - 3x - x^2}. \quad (8)$$

Also, the Binet's formula of this sequence is

$$GB_n = \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} + i \frac{\alpha\beta^n - \beta\alpha^n}{\alpha - \beta} \quad (9)$$

where α, β are the roots of the characteristic equation.

Moreover, many properties of this sequence are investigated in the same study.

In this study, we extend the Bronze Lucas sequence to the Gaussian Bronze Lucas number sequence. Then, we derive the Binet formula and generating function for this sequence. We also find sums and various identities for the Gaussian Bronze Lucas sequence.

II. MAIN RESULTS

In this section, firstly, we define the recurrence relation of the Gaussian Bronze Lucas sequence. Then we find the Binet formula, generating function, some sum formulas and identities of the Gaussian Bronze Lucas sequence.

Definition 1. The Gaussian Bronze Lucas sequence $\{GBL_n\}_{n=0}^{\infty}$ is given recursively by

$$GBL_n = 3GBL_{n-1} + GBL_{n-2} \quad (10)$$

with initial values $GBL_0 = 2 - 3i$ and $GBL_1 = 3 + 2i$ and $n \geq 2$.

Also, note that for $n \geq 0$,

$$GBL_n = BL_n + iBL_{n-1}. \quad (11)$$

The first few values of GBL_n are: $2 - 3i, 3 + 2i, 11 + 3i, 36 + 11i, 119 + 36i, 393 + 119i$ and so on.

Theorem 1. The sequence $\{GBL_n\}_{n \geq 0}$ can be extended to negative subscripts by defining

$$GBL_{-n} = -3GBL_{-(n-1)} + GBL_{-(n-2)} \quad (12)$$

for $n \geq 1$.

Proof. From the recurrence relation of Gaussian Bronze Lucas sequence, we have

$$GBL_{n-2} = GBL_n - 3GBL_{n-1}. \quad (13)$$

Then, for $n = -n + 2$, we obtain

$$GBL_{-n} = GBL_{-n+2} - GBL_{-n+1} \quad (14)$$

$$= GBL_{-(n-2)} - 3GBL_{-(n-1)} \quad (15)$$

$$= -3GBL_{-(n-1)} + GBL_{-(n-2)} \quad (16)$$

as required.

The next theorem gives the generating function for the Gaussian Bronze Lucas sequence.

Theorem 2. The generating function of the Gaussian Bronze Lucas number sequence $\{GBL_n\}_{n=0}^{\infty}$ is given as

$$f(x) = \frac{(2 - 3x) + (11x - 3)i}{1 - 3x - x^2}. \quad (17)$$

Proof. Suppose that $f(x)$ is the generating function of $\{GBL_n\}_{n=0}^{\infty}$. Hence, $f(x)$ is given by

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} GBL_n x^n = GBL_0 + GBL_1 x + GBL_2 x^2 + GBL_3 x^3 + GBL_4 x^4 + \dots \quad (18)$$

Now, multiplying both sides of this equality with the term $3x$ and x^2 , respectively, we write

$$3xf(x) = 3GBL_0 x + 3GBL_1 x^2 + 3GBL_2 x^3 + 3GBL_3 x^4 + \dots \quad (19)$$

and

$$x^2 f(x) = GBL_0 x^2 + GBL_1 x^3 + GBL_2 x^4 + \dots \quad (20)$$

Thus, we obtain

$$f(x)(1 - 3x - x^2) = 2 - 3i + 3x + 2xi - 6x + 9xi. \quad (21)$$

Hence, we have

$$f(x) = \frac{(2 - 3x) + (11x - 3)i}{1 - 3x - x^2} \quad (22)$$

which is desired.

Now, the Binet formula of $\{GBL_n\}_{n=0}^{\infty}$ will be expressed and proved.

Theorem 3. Let $\alpha = \frac{3+\sqrt{13}}{2}$ and $\beta = \frac{3-\sqrt{13}}{2}$ be the roots of the equation $x^2 - 3x - 1 = 0$. The Binet formula of the Gaussian Bronze Lucas sequence is

$$GBL_n = (\alpha^n + \beta^n) + (\alpha^{n-1} + \beta^{n-1})i. \quad (23)$$

Proof. The general term of the Gaussian Bronze Lucas sequence can be written in the following form:

$$GBL_n = c_0 \alpha^n + c_1 \beta^n \quad (24)$$

where c_0 and c_1 are coefficients.

Then, using the initial values imply that

$$c_0 + c_1 = 2 - 3i \quad (25)$$

$$c_0 \left(\frac{3 + \sqrt{13}}{2} \right) + c_1 \left(\frac{3 - \sqrt{13}}{2} \right) = 3 + 2i. \quad (26)$$

Solving the above system, we have

$$c_0 = \frac{(3 - 2\beta) + (2 + 3\beta)i}{\alpha - \beta} \quad (27)$$

$$c_1 = \frac{(2\alpha - 3) - (3\alpha + 2)i}{\alpha - \beta} \quad (28)$$

Hence, the Binet formula for this sequence is obtained

$$GBL_n = (\alpha^n + \beta^n) + (\alpha^{n-1} + \beta^{n-1})i \quad (29)$$

as required.

Theorem 4. For the Gaussian Bronze Lucas sequence, we have

$$\sum_{k=1}^n GBL_k = \frac{1}{3} (GBL_{n+1} + GBL_n - 5 + i), \quad n \geq 1. \quad (30)$$

Proof. From the recurrence relation of the Gaussian Bronze Lucas sequence, we have

$$GBL_{n-1} = \frac{1}{3}(GBL_n - GBL_{n-2}). \quad (31)$$

From this equation, we get

$$GBL_1 = \frac{1}{3}(GBL_2 - GBL_0) \quad (32)$$

$$GBL_2 = \frac{1}{3}(GBL_3 - GBL_1) \quad (33)$$

$$GBL_3 = \frac{1}{3}(GBL_4 - GBL_2) \quad (34)$$

⋮

$$GBL_n = \frac{1}{3}(GBL_{n+1} - GBL_{n-1}) \quad (35)$$

After performing necessary calculations we get

$$\sum_{k=1}^n GBL_k = \frac{1}{3}(GBL_{n+1} + GBL_n - GBL_1 - GBL_0) \quad (36)$$

$$= \frac{1}{3}(GBL_{n+1} + GBL_n - 5 + i) \quad (37)$$

which is desired.

The undermentioned result follows from the supra theorem.

Theorem 5. The following sum formulas hold for $n \in \mathbb{Z}^+$.

$$(i) \sum_{k=1}^n GBL_{2k} = \frac{1}{3}(GBL_{2n+1} - 3 - 2i) \quad (38)$$

$$(ii) \sum_{k=1}^n GBL_{2k-1} = \frac{1}{3}(GBL_{2n} - 2 + 3i) \quad (39)$$

Presently, we introduce the matrices \mathbf{Q} and \mathbf{B} . Let \mathbf{Q} and \mathbf{B} denote the 2×2 matrices defined as

$$\mathbf{Q} = \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \text{ and } \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 11 + 3i & 3 + 2i \\ 3 + 2i & 2 - 3i \end{pmatrix}.$$

Theorem 6. For $n \geq 1$, we have

$$\mathbf{Q}^n \mathbf{B} = \begin{pmatrix} GBL_{n+2} & GBL_{n+1} \\ GBL_{n+1} & GBL_n \end{pmatrix} \quad (40)$$

Proof. We can prove the theorem by induction method on n . For $n = 0$, we get

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} GBL_2 & GBL_1 \\ GBL_1 & GBL_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11 + 3i & 3 + 2i \\ 3 + 2i & 2 - 3i \end{pmatrix} \quad (41)$$

Assume that the equality holds for $n = k$, namely

$$Q^k B = \begin{pmatrix} GBL_{k+2} & GBL_{k+1} \\ GBL_{k+1} & GBL_k \end{pmatrix} \quad (42)$$

Now, we need to demonstrate it is true for $n = k + 1$. Hence, we get

$$Q^{k+1} B = Q(Q^k B) \quad (43)$$

$$= \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} GBL_{k+2} & GBL_{k+1} \\ GBL_{k+1} & GBL_k \end{pmatrix} \quad (44)$$

$$= \begin{pmatrix} 3GBL_{k+2} + GBL_{k+1} & 3GBL_{k+1} + GBL_k \\ GBL_{k+2} & GBL_{k+1} \end{pmatrix} \quad (45)$$

$$= \begin{pmatrix} GBL_{k+3} & GBL_{k+2} \\ GBL_{k+2} & GBL_{k+1} \end{pmatrix} \quad (46)$$

So, we obtain the desired result.

Theorem 7. (Cassini Identity). For $n \in \mathbb{Z}^+$, the Gaussian Bronze Lucas sequence, we have the following equation

$$GBL_{n-1}GBL_{n+1} - GBL_n^2 = 13(-1)^{n-1}(2 - 3i). \quad (47)$$

Proof. It is clear that $\det Q^{n-1} = (-1)^{n-1}$ and $\det B = 13(2 - 3i)$. If the determinant of both sides of the equation below is taken

$$Q^{n-1} B = \begin{pmatrix} GBL_{n+1} & GBL_n \\ GBL_n & GBL_{n-1} \end{pmatrix} \quad (48)$$

we get

$$GBL_{n-1}GBL_{n+1} - GBL_n^2 = 13(-1)^{n-1}(2 - 3i) \quad (49)$$

which is completes the proof.

Theorem 8. The Catalan and d'Ocagne identities for Gaussian Bronze Lucas sequence

$$(i) GBL_{n-k}GBL_{n+k} - GBL_n^2 = (-1)^n(2 - 3i)[(-1)^k(\alpha^k + \beta^k)^2 - 4] \quad n, k \in \mathbb{Z}^+ \quad (50)$$

$$(ii) GBL_mGBL_{n+1} - GBL_nGBL_{m+1} = \sqrt{13}(2 - 3i)(-1)^{n+1}(\alpha^{m-n} - \beta^{m-n}) \quad m, n \in \mathbb{Z}^+ \quad (51)$$

respectively.

Proof. By using the Binet formula, the proof can be easily seen.

In addition, if $k = 1$ taken in Theorem 8(i), Cassini formula of the Gaussian Bronze Lucas sequence is obtained again.

III. CONCLUSION

Firstly, we have defined the Gaussian Bronze Lucas number sequence. Then, we were examined some properties like Binet formula, generating function, several summation formula and matrix representation. Additionally, by using the Binet formula, various identities like Catalan, Cassini and d'Ocagne related to the Gaussian Bronze Lucas sequence were also derived.

REFERENCES

- [1] Koshy, T. (2001). *Fibonacci and Lucas Numbers with Applications*. John Wiley and Sons Inc., New York, 511-516.
- [2] Hoggatt, V.E. (1969). *Fibonacci and Lucas Numbers*. Houghton Mifflin Company, Boston, 2-8.
- [3] Koshy, T. (2014). *Pell and Pell-Lucas Numbers with Applications*. Springer, New York, 115-172.
- [4] Yağmur, T. (2019). New approach to Pell and Pell-Lucas sequences. *Kyungpook Mathematical Journal*, 59(1), 23-34.
- [5] Horadam, A.F. (1996). Jacobsthal representation numbers. *Fibonacci Quarterly*, 34, 40-54.
- [6] Horadam, A.F. (1963). Complex Fibonacci numbers and Fibonacci quaternions. *American Mathematics Monthly*, 70, 289-291.
- [7] Good, I.J. (1993). Complex Fibonacci and Lucas numbers, continued fractions, and the square root of the golden ratio. *Fibonacci Quarterly*, 31(1), 7-20.
- [8] Jordan, J.H. (1965). Gaussian Fibonacci and Lucas numbers. *Fibonacci Quarterly*, 3, 315-318.
- [9] Berzsenyi, G. (1977). Gaussian Fibonacci numbers. *Fibonacci Quarterly*, 15(3), 233-236.
- [10] Halıcı, S., & Öz, S. (2016). On Gaussian Pell and Pell-Lucas numbers. *Ordu University Science and Technology Journal*, 6(1), 8-18.
- [11] Aşçı, M., & Gürel, E. (2013). Gaussian Jacobsthal and Gaussian Jacobsthal-Lucas numbers. *Ars Combinatoria*, 111, 53-63.
- [12] Shannon, A. G. (2020). Gaussian binomial coefficients. *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics*, 26(1), 225-229.
- [13] Özkan, E., & Taştan, M. (2020). A new families of Gauss k-Jacobsthal numbers and Gauss k-Jacobsthal-Lucas numbers and their polynomials. *Journal of Science and Arts*, 4(53), 893-908.
- [14] Özkan, E., & Taştan, M. (2021). On a new family of Gauss k-Lucas numbers and their polynomials. *Asian-European Journal of Mathematics*, 14(6), 2150101.
- [15] Cerda-Morales, G. (2021). Gaussian third-order Jacobsthal and Gaussian third-order Jacobsthal-Lucas polynomials and their properties. *Asian-European Journal of Mathematics*, 14(5), 2150076.
- [16] Özkan, E., & Kuloğlu, B. (2021). On the new Narayana polynomials, the Gauss Narayana numbers and their polynomials. *Asia-European Journal of Mathematics* n, 14(6), 2150100.
- [17] Sloane, N.J.A. (1964). On-line Encyclopedia of Integer Sequences. <http://oeis.org/>.
- [18] Akbıyık, M., & Alo, J. (2021). On the third-order Bronze Fibonacci numbers. *Mathematics*, 9(20), 2606.
- [19] Yaşar Kartal, M. (2020). Gaussian Bronze Fibonacci numbers. *International Journal on Mathematics, Engineering and Natural Sciences*, 4(13), 19-25.

Araştırma Makalesi - Research Article

Clay-Biomass Composite: An Ecofriendly Hybrid Adsorbent for Effective Removal of Ni (II)

Kil-Biyokütle Kompoziti: Ni (II)'nin Etkin Giderimi için Çevre Dostu Hibrit Adsorban

Fatih Sayın^{1*}

Geliş / Received: 22/01/2022

Revize / Revised: 24/04/2022

Kabul / Accepted: 26/05/2022

ABSTRACT

In this study, natural clay mineral: *Capsicum annum* (*C. annum*) L. seeds based composite adsorbent (CCAC) was prepared. Adsorption performance of CCAC was evaluated in terms of Ni (II) removal and adsorption capacity. Experimental conditions were optimized by investigating the initial pH of the metal solution, CCAC amount, initial metal ion concentration, and contact time parameters. The optimum conditions for Ni (II) adsorption by CCAC were pH:7.0, CCAC amount:0.06 g, and contact time:20 min. The adsorption isotherms were also analyzed by well-known models. The Langmuir isotherm model predicted a maximum monolayer adsorption capacity of 126 mg g⁻¹. Functional groups and surface morphology of CCAC were examined using FT-IR and SEM analysis, respectively. The findings indicated that the Ni (II) adsorption process was spontaneous and chemical in nature. Finally, all the results of this study revealed that CCAC, a simple to produce, cost-effective, and robust composite adsorbent, is an appropriate candidate for the treatment of waters polluted with nickel ions.

Keywords- Adsorption, *Capsicum Annum*, Natural Clay, Nickel (II), Water Treatment

ÖZ

Bu çalışmada, doğal kil minerali: *Capsicumannuum* (*C. annum*) L. çekirdekleri bazlı kompozit bir adsorban (CCAC) hazırlanmıştır. CCAC'nin adsorpsiyon performansı, Ni (II) uzaklaştırma ve adsorpsiyon kapasitesi açısından değerlendirildi. Deneysel koşullar, metal çözeltisinin başlangıç pH'ı, CCAC miktarı, başlangıç metal iyonu konsantrasyonu ve temas süresi parametreleri araştırılarak optimize edilmiştir. CCAC ile Ni (II) adsorpsiyonu için optimum pH: 7.0, CCAC miktarı: 0.06 g ve temas süresi: 20 dakika olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon izotermi sık kullanılan modeller ile belirlenmiştir. Langmuir izoterm modeli ile maksimum tek tabakalı adsorpsiyon kapasitesi 126mg g⁻¹ olarak belirlenmiştir. CCAC'nin fonksiyonel grupları ve yüzey morfolojisi sırasıyla FT-IR ve SEM analizleri kullanılarak araştırılmıştır. Bulgular, kimyasal ve kendiliğinden gerçekleşen bir Ni(II) adsorpsiyon sürecini işaret etmiştir. Son olarak, bu çalışmadan elde edilen tüm sonuçlar, basit olarak üretilen, maliyeti uygun ve sağlam bir kompozit adsorban olan CCAC'nin nikel iyonları ile kirlenmiş suların arıtılması için uygun bir aday olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler- Adsorpsiyon, *Capsicum Annum*, Doğal Kil, Nikel (II), Su Arıtımı

^{1*}Corresponding author contact: fsayin@ogu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7649-9694>)

Department of Chemistry, Faculty of Science and Letters, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir, Turkey

I. INTRODUCTION

Contamination of surface and groundwater with heavy metals has become a worldwide environmental issue due to the improper disposal of industrial effluent from various industrial uses [1]. Because heavy metals cannot be degraded or destroyed, they accumulate in living organisms, causing an increase in their concentration over time. Although nickel is one of the essential elements required for human metabolism, it has severe health impacts [2,3]. While the European Union has set a limit of 50 mg L⁻¹ for drinking water, nickel levels in industrial effluent can reach 900 mg L⁻¹ [4]. The World Health Organization (WHO) determined guideline and tolerated daily intake (TDI) limits as 0.07 mg L⁻¹ and 12 µg⁻¹ kg⁻¹ body weight, respectively [5]. Therefore, Ni (II) ions in the polluted aquatic medium should be eliminated.

Precipitation, flotation, adsorption, ion exchange, extraction, reverse osmosis, and membrane techniques are used to remove heavy metals contaminants from aquatic medium. Adsorption is a popular analytical technique for removing numerous organic and inorganic pollutants from wastewater. The abundance of adsorbents used in this method and their low-cost are two of the most significant advantages that led to the technique's popularity [6-10]. Clay minerals, one of the most abundant minerals, are excellent adsorbents in natural, composite, and modified forms and offer a number of advantages, including high specific surface area, nontoxicity, low-cost, and superior adsorption capabilities [11,12]. *Capsicum annuum* (*C. annuum*) type pepper seeds have also been proven to be excellent sorbent material for eliminating pollutants from aquatic environments [13-16]. The industrial manufacture of such products generates a significant volume of waste seeds. As a result, employing this material as a possible feedstock for the development of an adsorbent is a waste evaluation procedure [17].

Researchers have recently prepared clay composites with various agents (chitosan, alginate, cellulose, magnetic iron oxide, ethylene glycol, and biomass) for more effective removal of multiple contaminants in an aqueous solution. Compared with the natural adsorbents, a composite adsorbent becomes more effective due to its enhanced mechanical strength, surface area, pore size, robustness, and ion exchange capacity. A clay-biomass hybrid composite is a potential approach for achieving more effective and reliable goals in adsorbent characteristics [7]. Such adsorbents are also five times less expensive than activated carbons [18]. *Sapindus* seed-activated carbon-clay [19], papaya seed-clay and pine cone-clay [18, 20, 21], cassava peel-clay [22], bamboo powder-clay [23], durian shells-clay [24], corn cob-clay [25], bamboo-clay [26], and cauliflower leaves [27] composites are few examples of clay-biomass composite materials in recent literature.

In this paper, *C. annuum* L. seeds and clay minerals, abundant in nature and readily available materials, were combined to make a composite adsorbent (CCAC) that was successfully employed to separate nickel (II) ions from the aquatic environment. To our knowledge, no previous research on the heavy metal removal ability of the prepared clay-biomass composite adsorbent has been reported. Preparation, characterization (SEM and IR), and optimization of each batch parameter (initial pH, CCAC amount, contact time, and initial pollutant concentration) were presented. The kinetic and equilibrium aspects of the Ni (II) treatment were also considered.

II. MATERIALS AND METHODS

A. Preparation of Clay-Biomass Composite

The composite adsorbent used in this study was prepared by mixing natural montmorillonite clay and *C. annuum* L. seeds in a mass ratio of 1:1. The powder mixture was moistened with a small amount of water and mixed well. The paste-like mixture was dried for 24 hours at 70 °C in an oven. Then, the prepared adsorbent was sieved and stored in a dark-colored bottle for use in adsorption experiments.

B. Apparatus and Adsorption Studies

The working solutions of Ni (II) were obtained by serial dilutions of 1000 mg L⁻¹ Ni (II) stock solution prepared from Ni (NO₃)₂·6H₂O (Merck, 99.0 - 102.0%). Batch adsorption trials were carried out with 50 mL of 100 mg L⁻¹ Ni (II) solutions on a multi-point magnetic stirrer (Variomag Multipoint 15) with a stirring speed of 200 rpm at room temperature. Appropriate concentrations of HCl or NaOH solutions were used to adjust the initial pH of the metal ion solutions. A pH meter (WTW, pH 7110) was used to measure the pH of the Ni (II) solutions. Parameters affecting the adsorption process such as initial pH (3-8), CCAC amount (0.02-0.20 g), agitation time (5-120 min), and initial Ni (II) concentration (70-830 mg L⁻¹) were examined. At the defined time intervals, the suspensions were centrifuged (5000 rpm, 5 min), and supernatants were analyzed with a flame-atomic absorption

spectrophotometer (Perkin Elmer, AAnalyst 400). The following equations were used to quantify the experimental results in terms of adsorption efficiency (E , %) and adsorption capacity (q_e , mg g⁻¹):

$$E = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

$$q_e = \frac{C_i - C_e}{m} \times V \quad (2)$$

where m (g) is the mass of CCAC, V (mL) is the volume of Ni (II) solution, C_i is initial, and C_e is the equilibrium concentrations of contaminant (mg L⁻¹), respectively.

The structure of natural clay, *C. annuum* L. seeds, and CCAC were also investigated by FTIR (Bruker–Tensor 27), SEM(JEOL–560–LV), and EDX analyses.

C. Adsorption Isotherm

Isotherm modeling of adsorption data was important to describe the adsorption mechanism between CCAC and Ni (II). The adsorption data in this study were examined using linearized Langmuir [28], Freundlich [29], and Dubinin–Radushkevich (D–R) [30] isotherm models in Eqs. 3, 4 and 6, respectively.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \left(\frac{1}{q_m K_L} \right) \times \frac{1}{C_e} \quad (3)$$

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \times \ln C_e \quad (4)$$

$$\varepsilon = RT \ln \left(1 + \frac{1}{C_e} \right) \quad (5)$$

$$\ln q_e = \ln q_m - \beta \varepsilon^2 \quad (6)$$

$$E = 1/\sqrt{2\beta} \quad (7)$$

where, C_e is the remaining Ni (II) concentration in solution (mol L⁻¹), q_e is the amount of Ni (II) adsorbed on the clay composite adsorbent (mol g⁻¹), and q_m is the maximum calculated Ni (II) adsorption capacity of CCAC (mol g⁻¹). K_L (L mol⁻¹), K_F and β (mol² J⁻²) are Langmuir, Freundlich, and D-R isotherm constants, respectively. $1/n$ is the adsorption intensity factor (dimensionless), R is the ideal gas constant (8.314 kJ mol⁻¹), E is the mean free energy calculated from Eq. 7 (kJ mol⁻¹), and T is the absolute temperature (K).

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. Characterization

The FT–IR spectra of CCAC and metal ion-loaded CCAC are given in Figure 1. Natural clay has various absorption bands at 3588, 3433, 2931, 2857, 1635, 773, 729, and 686 cm⁻¹. The same absorption bands were also found in the spectrum of CCAC in addition to the peaks at 1409, 1013, 649, and 443 cm⁻¹, which indicate complex surface characteristics and rich in C, O, and H elements [31]. The peaks at 3310, 2927, 2855, 1747, 1657, 1548, 1461, 1391, and 1100 cm⁻¹ are the major bands of the functional groups present on the *C. annuum* seeds [32]. The absorption bands in the spectrum of CCAC at 3588 and 3433 cm⁻¹ (–NH or –OH) shifted to 3608 and 3422 cm⁻¹, respectively, and the strength of the band at 3588 cm⁻¹ also decreased after an interaction with Ni (II) ions. The peak at 1635 cm⁻¹ (–OH stretching/bending vibrations of water) [33] was relocated to 1632 cm⁻¹. The intensity of this absorption band also enhanced after Ni (II) adsorption onto CCAC. A weak peak at 1409 cm⁻¹ (C–H bending vibration) shifted to 1384 cm⁻¹ with an increase in the band intensity after Ni (II) adsorption process (Figure 1b) [34]. Si–O symmetrical vibration band (1013 cm⁻¹) also slightly weakened after Ni (II) exposure. The observed

bands of the CCAC at 772, 686, 649, and 443 cm^{-1} were minimally affected by Ni (II) adsorption. Similar results can also be shown in previous studies using clay minerals [35, 36]. These findings might be strong evidence for Ni (II) adsorption via different binding sites on the composite clay surface.

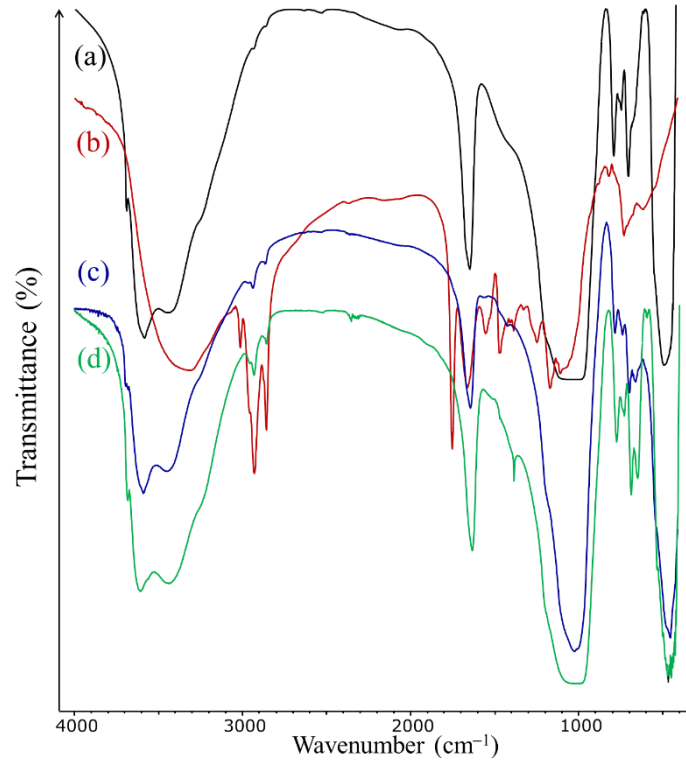


Figure 1. IR spectra of clay(a), *C. annuum*(b), CCAC(c), and Ni (II) loaded CCAC(d).

SEM analysis was utilized to characterize the surface morphologies of the clay, *C. annuum*, CCAC and Ni (II) loaded CCAC and SEM micrographs at $\times 3000$ magnification are shown in Figure 2. The surface of natural montmorillonite clay has a rough and porous surface (Figure 2a). SEM micrograph of *C. annuum* also indicated its rough, irregular, and porous structure (Figure 2b). CCAC revealed a more heterogeneous and relatively porous microstructure and had a rough surface (Figure 2c). Partial pores on the sorbent surface of CCAC were detected, and these served as binding sites for Ni (II) ions and enhanced their diffusion. It can be observed from these figures that the adsorption process affected the morphology of the composite adsorbent (Figure 2d). The interlayer gaps were minimized after Ni (II) adsorption, and the adsorbent surface appeared smoother and more uniform than CCAC.

EDX spectrums of the CCAC and Ni (II) loaded CCAC were also examined to validate the interaction of Ni (II) ions with composite adsorbent. While the different peaks of Ni (II) ions were not apparent in the EDX spectrum of CCAC (Figure 3a), they were visible in the EDX spectrum of Ni (II) adsorbed composite adsorbent (Figure 3b), which was an indicator of Ni (II) adsorption onto CCAC.

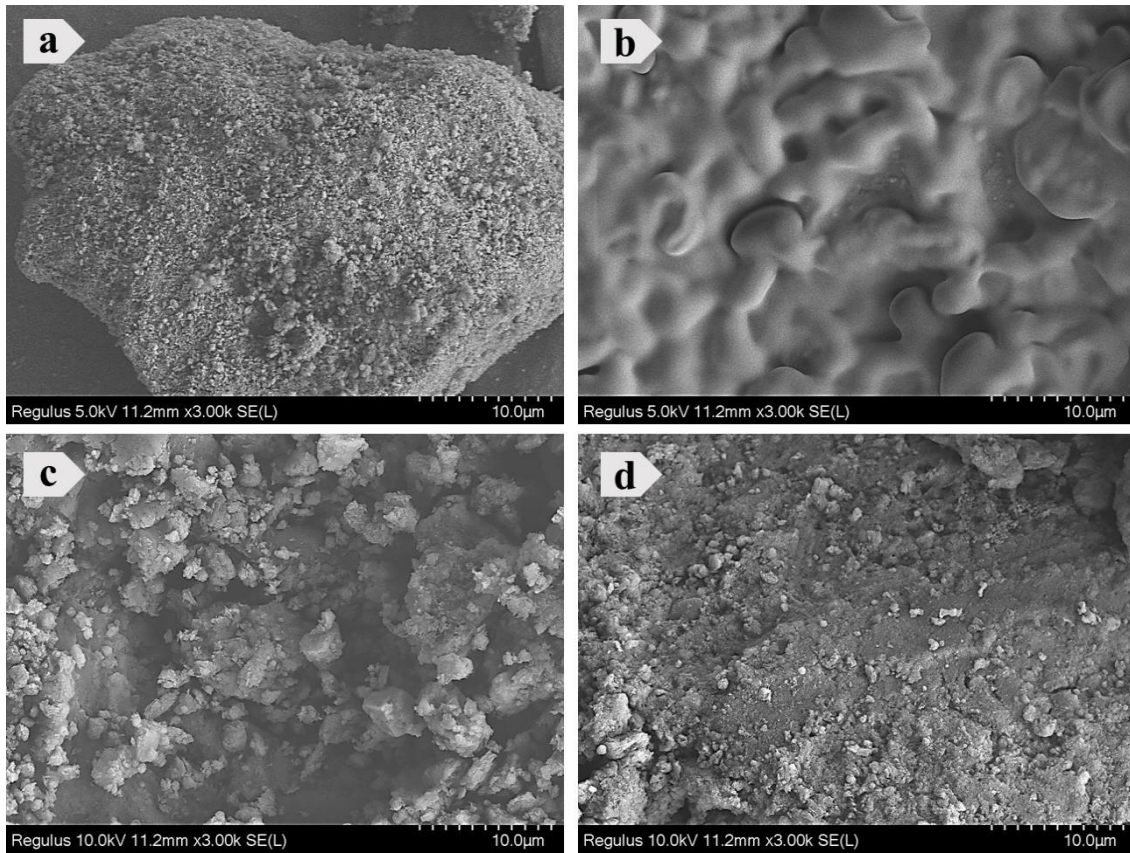


Figure 2. SEM micrographs of natural montmorillonite clay (a), *C. annuum* L. seeds (b), CCAC (c) and Ni (II) loaded CCAC (d).

B. Effect of pH on CCAC Adsorption

The initial pH value is an essential factor affecting the adsorption process. The pH of the solution affects the solution chemistry of the contaminants, the activity of binding sites in adsorbents, and the competition with other ions in the sorption medium.

The influence of pH on CCAC's adsorptive efficacy was evaluated at various pH values (3.0–8.0) at ambient temperature, and the findings are shown in Figure 4. Due to the possibility of nickel precipitation in the hydroxide form after pH 8, studies at higher pH values were not carried out. The figure demonstrated that the initial pH had a significant impact on the adsorption process of Ni (II) by CCAC up to 7.0 and that at lower pH values, competition for binding to active sites between Ni (II) and hydronium ions increased, resulting in reduced Ni (II) adsorption on the CCAC's surface [9]. The adsorption capacity of Ni (II) rose from 14.5 to 32.1 mg g⁻¹ with increasing pH values from 3.0 to 7.0 and then remained constant at pH 7.0 ($p > 0.05$). Based on these findings, the pH value of 7.0 was determined to be the optimal value.

C. Effect of CCAC Quantity

Optimization of the adsorbent quantity is also an important stage of the adsorption process. When the adsorbent quantity is increased, the amount of adsorbed contaminant per unit weight of adsorbent generally decreases while the percentage efficacy increases [37, 38]. The impact of adsorbent quantity was investigated by varying the amount of CCAC from 0.02 to 0.20 g using 100 mg L⁻¹ Ni (II) solution (pH 7.0) at ambient temperature. Figure 5 showed that increasing the adsorbent dosage lead to an increase in the available active sites, resulting in increased adsorption yield for Ni (II) removal [39]. The percentage of Ni (II) removal increased from 8.5 to 97.5% when the CCAC dosage was increased from 0.02 to 0.20 g. The adsorption capacity also increased from 24.4 to 41.3 mg g⁻¹ by increasing CCAC dosage from 0.02 to 0.06 g and decreased with a further increase. The optimal CCAC dose was determined to be 0.06 g, and further studies were performed using 0.06 g CCAC.

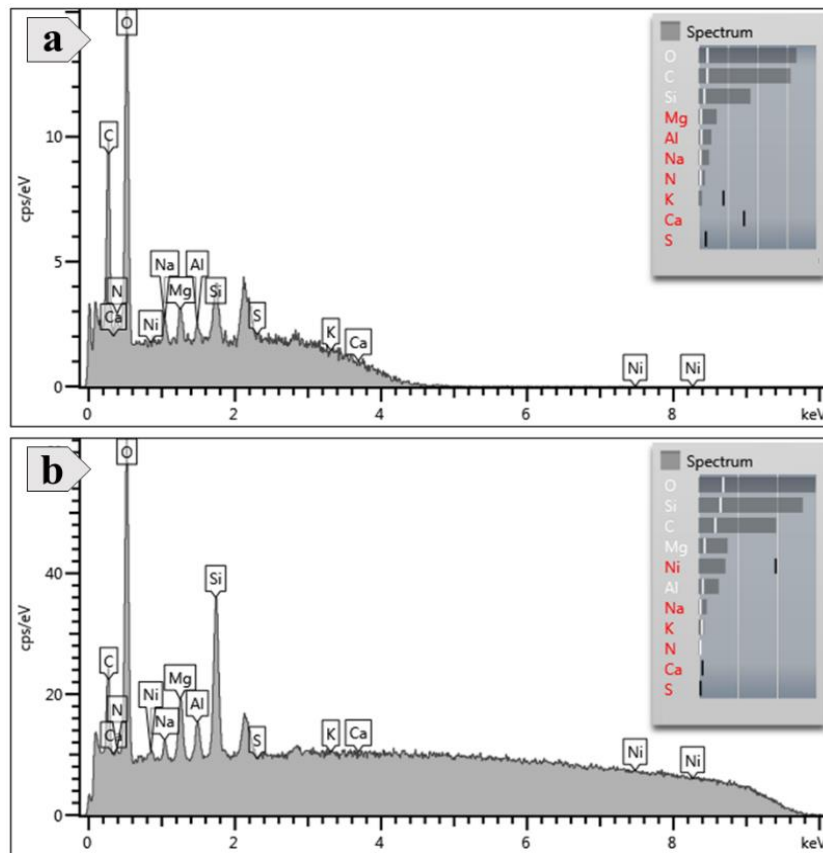


Figure 3. EDX spectra of CCAC (a) and Ni (II) loaded CCAC (b).

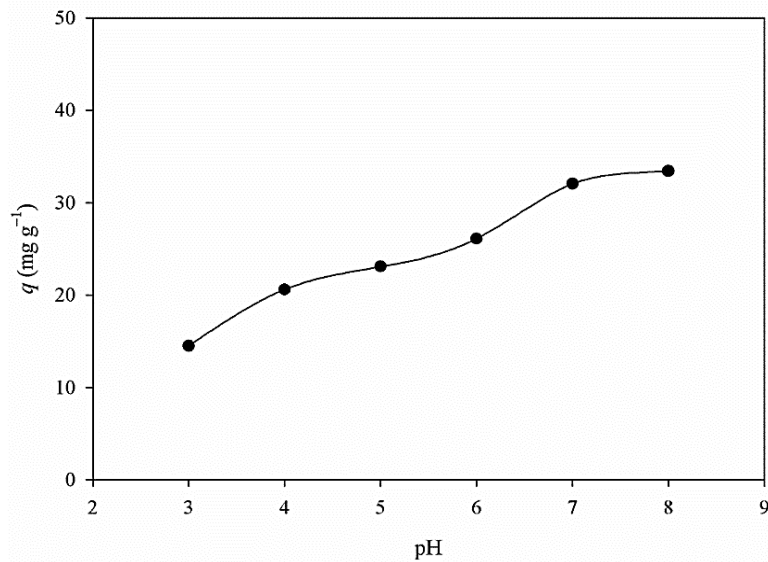


Figure 4. Impact of pH on the Ni (II) adsorption onto CCAC.

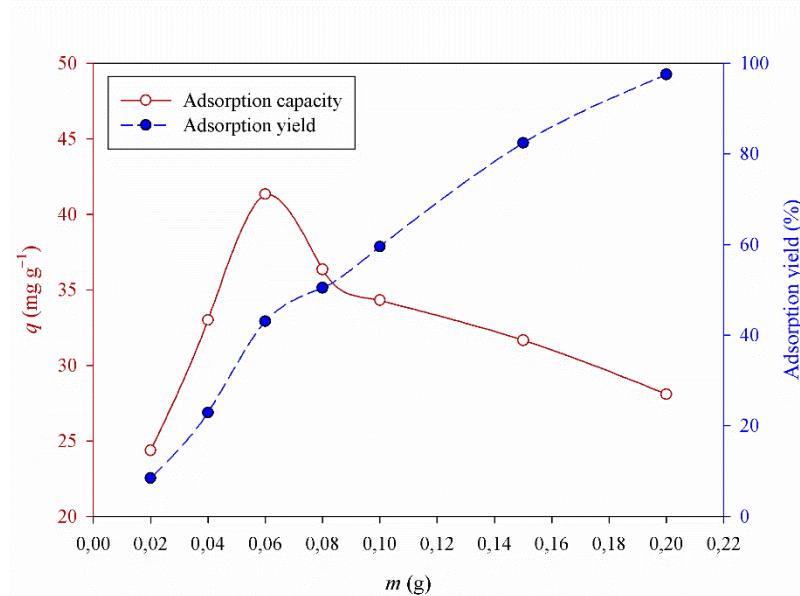


Figure 5. Impact of CCAC dosage on the Ni (II) adsorption onto CCAC.

D. Effect of Contact Time

Determining the time required for the adsorption critical for keeping energy and workforce to a minimum. The adsorption capacity reached 37.3 mg g^{-1} in the first 5 min, increased up to 51.5 mg g^{-1} in 20 min and then reached an equilibrium (Figure 6). This quick nickel extraction efficiency was a significant aspect of the suggested composite adsorbents for practical use in water purification systems.

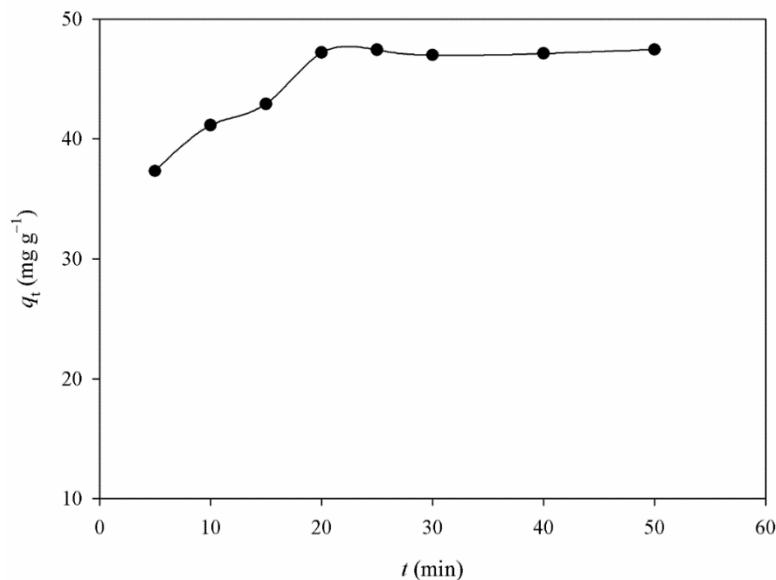


Figure 6. Impact of contact time on the Ni (II) adsorption onto CCAC.

E. Adsorption Isotherm Models

A relationship between adsorption capacity and metal ion concentration was given in Figure 7. Metal ions were adsorbed on the particular functional groups at lower Ni (II) concentrations. The adsorption rate decreased at later stages as the Ni (II) concentration increased because these sites became occupied. The maximum adsorption capacity of CCAC was calculated as 115 mg g^{-1} using 730 mg L^{-1} initial Ni (II) concentrations.

The Langmuir (Figure 8), Freundlich (Figure 9), and D-R (Figure 10) isotherm model curves derived from the linearized plots were tabulated in Table 1. Figure 8 and Table 1 showed that Ni (II) adsorption better fits the Langmuir isotherm model. This result indicated the generation of a monolayer surface coating of Ni (II) ions on the CCAC's surface. A maximum monolayer sorption capacity of 126 mg g^{-1} was predicted from the Langmuir isotherm model. The n value calculated from the Freundlich isotherm model and the adsorption energy predicted from the D–R isotherm model indicated spontaneous adsorption and the chemical ion-exchange adsorption mechanisms, respectively [39-42].

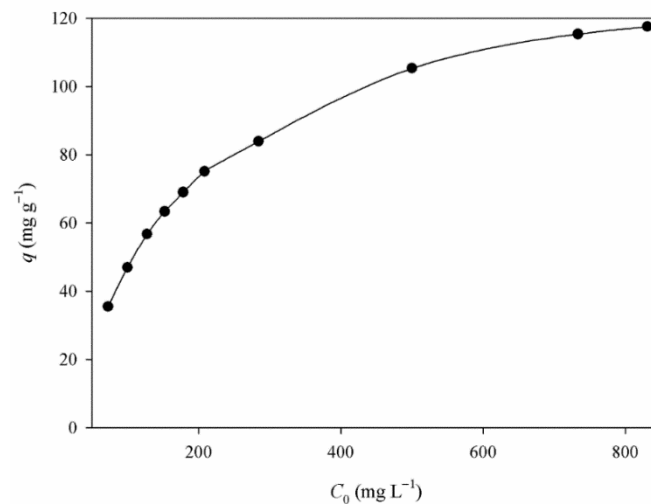


Figure 7. Impact of initial Ni (II) ion concentration on adsorption capacity of CCAC.

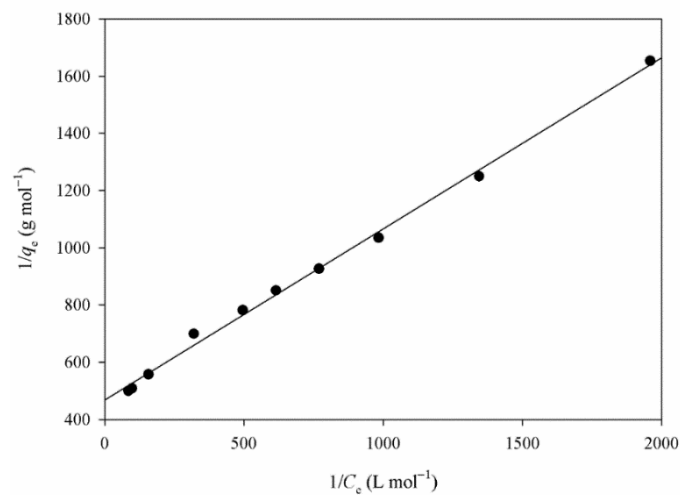


Figure 8. Linearized Langmuir isotherm plots for the adsorption of Ni (II) onto CCAC.

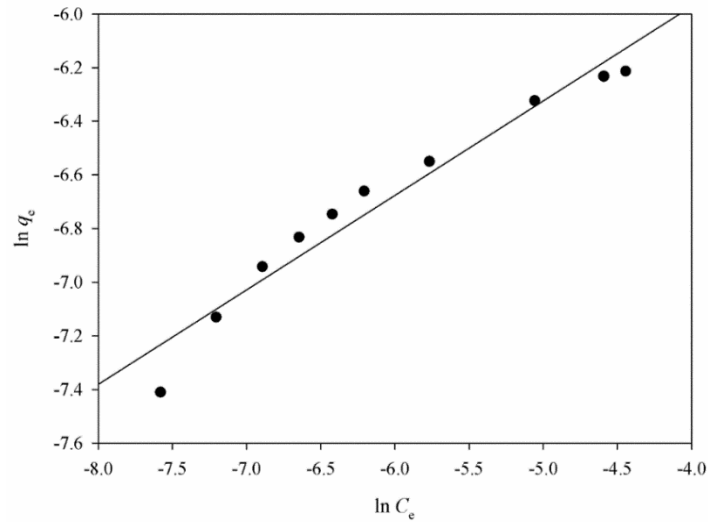


Figure 9. Linearized Freundlich isotherm plots for the Ni (II) adsorption onto CCAC.

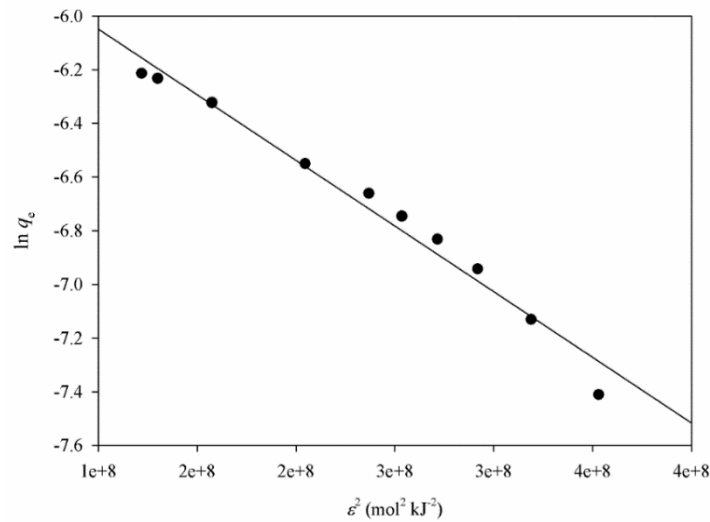


Figure 10. Linearized D-R isotherm plot for the Ni (II) adsorption onto CCAC.

Table 1. Isotherm parameters for the adsorption of Ni (II) by CCAC

Langmuir			Freundlich			Dubinin-Radushkevich (D-R)			
q_{max}	K_L	r^2	n	K_F	r^2	q_m	β	r^2	ε
(mol g ⁻¹)	(L mol ⁻¹)					(mol g ⁻¹)	(mol ² kJ ⁻²)		(kJ mol ⁻¹)
2.1×10^{-3}	7.8×10^2	0.997	2.8	0.010	0.952	3.9×10^{-3}	4.9×10^{-9}	0.977	10.1

F. Comparison with Recent Works

The Ni (II) adsorption performance of CCAC in terms of equilibrium time, adsorption efficiency, and adsorption capacity was compared to those of other clay minerals and biomaterials (Table 2). The present study proved that CCAC could be employed as an effective alternative composite adsorbent in the industrial operations for Ni (II) elimination due to its greater adsorption efficiency and capacity, as well as its faster equilibrium time.

Table 2. Comparison of the Ni (II) adsorption parameters with recent clay- and biomass-based adsorbents

Adsorbent	t (min)	E (%)	q (mg g ⁻¹)	References
Surfactant-modified bentonite	5	–	65.8	[43]
Activated bentonite clay	120	75.5	2.0	[44]
Montmorillonitic clay	15	96	3.8	[45]
Bentonite clay composite	270	95.6	37.9	[46]
<i>Serratia marcescens</i>	60	–	13.5	[47]
<i>Parmotrema tinctorum</i>	120	58.9	33.9	[48]
<i>Narcissus tazetta</i> L. leaf powder	15	43.5	36.0	[49]
Brewed green tea bag waste	15	76	7.6	[50]
Red tea bag waste	30	62	6.2	[50]
CCAC	20	97.5	126	Present study

IV. CONCLUSION

The present study proved that clay-biomass based composite adsorbent (CCAC) was effective for Ni (II) removal from polluted water medium. Ni (II) adsorption by CCAC was a fast, spontaneous, and pH-dependent process. The role of hydroxyl and silicate groups in the adsorption processes was discovered using the FTIR method. SEM morphological analysis revealed a heterogeneous, relatively porous and rough surface structure. CCAC successfully removed Ni (II) ions with a maximum adsorption yield of 97.5% and adsorption capacity of 126 mg g⁻¹. Adsorption equilibrium was attained in a short period (20 min). Various kinetic and equilibrium models were used to analyze the experimental data. Langmuir isotherm and PSO kinetic models described better Ni (II) adsorption process by CCAC. As a result, CCAC may be considered a promising adsorbent for the removal of Ni (II) ion pollution in wastewater.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was financially supported by the Commission of Eskişehir Osmangazi University Scientific Research Projects with project number FHD-2021-1694. The author would also thank to Dr. Sema Çelik for her assistance on FT-IR analysis.

REFERENCES

- [1] Akar, S. T. & Uysal, R. (2010). Untreated clay with high adsorption capacity for effective removal of C.I. Acid Red 88 from aqueous solutions: Batch and dynamic flow mode studies. *Chemical Engineering Journal*, 162 (2), 591-598.
- [2] Raval, N. P., Shah, P. U. & Shah, N. K. (2016). Adsorptive removal of nickel(II) ions from aqueous environment: A review. *Journal of Environmental Management*, 179, 1-20.
- [3] Akar, T., Celik, S., Gorgulu Ari, A. & Tunali Akar, S. (2013). Nickel removal characteristics of an immobilized macro fungus: equilibrium, kinetic and mechanism analysis of the biosorption. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 88 (4), 680-689.
- [4] Kara, İ., Yilmazer, D. & Tunali Akar, S. (2017). Metakaolin based geopolymer as an effective adsorbent for adsorption of zinc(II) and nickel(II) ions from aqueous solutions. *Applied Clay Science*, 139, 54-63.
- [5] WHO (2017) Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, World Health Organization.
- [6] Irannajad, M. & Kamran Haghighi, H. (2021). Removal of heavy metals from polluted solutions by zeolitic adsorbents: a review. *Environmental Processes*, 8 (1), 7-35.
- [7] Diagboya, P. N., Olu-Owolabi, B. I., Mtunzi, F. M. & Adebowale, K. O. (2020). Clay-carbonaceous material composites: Towards a new class of functional adsorbents for water treatment. *Surfaces and Interfaces*, 19, 100506.
- [8] Satir, I. T. & Erol, K. (2021). Calcined eggshell for removal of Victoria Blue R dye from wastewater medium by adsorption. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 8 (1), 47 - 56.
- [9] Şenol, Z. M. & Şimşek, S. (2020). Removal of Pb²⁺ ions from aqueous medium by using chitosan-diatomite composite: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 7 (1), 307-318.
- [10] Akar, T., Güray, T., Yilmazer Tunc, D. & Tunali Akar, S. (2019). Biosorptive detoxification of zearalenone biotoxin by surface-modified renewable biomass: process dynamics and application. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99 (4), 1850-1861.

- [11] Kausar, A., Iqbal, M., Javed, A., Aftab, K., Nazli, Z.-i.-H., Bhatti, H. N. & Nouren, S. (2018). Dyes adsorption using clay and modified clay: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 256, 395-407.
- [12] Awad, A. M., Shaikh, S. M. R., Jalab, R., Gulied, M. H., Nasser, M. S., Benamor, A. & Adham, S. (2019). Adsorption of organic pollutants by natural and modified clays: A comprehensive review. *Separation and Purification Technology*, 228, 115719.
- [13] Gürel, L. (2017). Biosorption of textile dye reactive blue 221 by capia pepper (*Capsicum annum* L.) seeds. *Water Science and Technology*, 75 (8), 1889-1898.
- [14] Parra-Marfil, A., Ocampo-Pérez, R., Collins-Martínez, V. H., Flores-Vélez, L. M., Gonzalez-Garcia, R., Medellín-Castillo, N. A. & Labrada-Delgado, G. J. (2020). Synthesis and characterization of hydrochar from industrial *Capsicum annum* seeds and its application for the adsorptive removal of methylene blue from water. *Environmental Research*, 184, 109334.
- [15] Özcan, A. S., Özcan, A., Tunali, S., Akar, T., Kiran, I. & Gedikbey, T. (2007). Adsorption potential of lead(II) ions from aqueous solutions onto *Capsicum annum* seeds. *Separation Science and Technology*, 42 (1), 137-151.
- [16] Tunali Akar, S., Gorgulu, A., Akar, T. & Celik, S. (2011). Decolorization of Reactive Blue 49 contaminated solutions by *Capsicum annum* seeds: Batch and continuous mode biosorption applications. *Chemical Engineering Journal*, 168 (1), 125-133.
- [17] Hammo, M. M., Akar, T., Sayin, F., Celik, S. & Tunali Akar, S. (2021). Efficacy of green waste-derived biochar for lead removal from aqueous systems: Characterization, equilibrium, kinetic and application. *Journal of Environmental Management*, 289, 112490.
- [18] Unuabonah, E. I., Adedapo, A. O., Nnamdi, C. O., Adewuyi, A., Omorogie, M. O., Adebowale, K. O., Olu-Owolabi, B. I., Ofomaja, A. E. & Taubert, A. (2015). Successful scale-up performance of a novel papaya-clay combo adsorbent: up-flow adsorption of a basic dye. *Desalination and Water Treatment*, 56 (2), 536-551.
- [19] Ayisha Sidiqna, M. & Priya, V. S. (2021). Removal of yellow dye using composite binded adsorbent developed using natural clay and activated carbon from sapindus seed. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 33, 101965.
- [20] Olu-Owolabi, B. I., Alabi, A. H., Unuabonah, E. I., Diagboya, P. N., Böhm, L. & Düring, R.-A. (2016). Calcined biomass-modified bentonite clay for removal of aqueous metal ions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4 (1), 1376-1382.
- [21] Olu-Owolabi, B. I., Alabi, A. H., Diagboya, P. N., Unuabonah, E. I. & Düring, R.-A. (2017). Adsorptive removal of 2,4,6-trichlorophenol in aqueous solution using calcined kaolinite-biomass composites. *Journal of Environmental Management*, 192, 94-99.
- [22] Ismadji, S., Tong, D. S., Soetaredjo, F. E., Ayucitra, A., Yu, W. H. & Zhou, C. H. (2016). Bentonite hydrochar composite for removal of ammonium from Koi fish tank. *Applied Clay Science*, 119, 146-154.
- [23] Chen, L., Chen, X. L., Zhou, C. H., Yang, H. M., Ji, S. F., Tong, D. S., Zhong, Z. K., Yu, W. H. & Chu, M. Q. (2017). Environmental-friendly montmorillonite-biochar composites: Facile production and tunable adsorption-release of ammonium and phosphate. *Journal of Cleaner Production*, 156, 648-659.
- [24] Laysandra, L., Santosa, F. H., Austen, V., Soetaredjo, F. E., Foe, K., Putro, J. N., Ju, Y.-H. & Ismadji, S. (2018). Rarasaponin-bentonite-activated biochar from durian shells composite for removal of crystal violet and Cr(VI) from aqueous solution. *Environmental Science and Pollution Research*, 25 (30), 30680-30695.
- [25] Chukwumeka-Okorie, H. O., Ekemezie, P. N., Akpomie, K. G. & Olikagu, C. S. (2018). Calcined corncob-kaolinite combo as new sorbent for sequestration of toxic metal ions from polluted aqua media and desorption. *Frontiers in Chemistry*, 6, 273.
- [26] Víglašová, E., Galamboš, M., Danková, Z., Krivosudský, L., Lengauer, C. L., Hood-Nowotny, R., Soja, G., Rompel, A., Matík, M. & Briančin, J. (2018). Production, characterization and adsorption studies of bamboo-based biochar/montmorillonite composite for nitrate removal. *Waste Management*, 79, 385-394.
- [27] Wang, Z., Xu, G., Lin, R., Wang, H. & Ren, J. (2019). Energy performance contracting, risk factors, and policy implications: Identification and analysis of risks based on the best-worst network method. *Energy*, 170, 1-13.
- [28] Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society*, 40 (9), 1361-1403.
- [29] Freundlich, H. M. F. (1906). Über die adsorption in lösungen. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 57, 385-470.

- [30] Dubinin, M. M. & Radushkevich L. V. (1947). The equation of the characteristic curve of activated charcoal. *Proceedings of the Academy of Sciences, Physical Chemistry Section*, 55, 331-333.
- [31] Zhang, D., Luo, Q., Gao, B., Chiang, S.-Y. D., Woodward, D. & Huang, Q. (2016). Sorption of perfluorooctanoic acid, perfluorooctane sulfonate and perfluoroheptanoic acid on granular activated carbon. *Chemosphere*, 144, 2336-2342.
- [32] Özcan, A., Özcan, A. S., Tunali, S., Akar, T. & Kiran, I. (2005). Determination of the equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters of adsorption of copper(II) ions onto seeds of *Capsicum annuum*. *Journal of Hazardous Materials*, 124 (1), 200-208.
- [33] Liu, C., Cai, W. & Liu, L. (2018). Hydrothermal carbonization synthesis of Al-pillared montmorillonite@carbon composites as high performing toluene adsorbents. *Applied Clay Science*, 162, 113-120.
- [34] Mobarak, M., Selim, A. Q., Mohamed, E. A. & Seliem, M. K. (2018). A superior adsorbent of CTAB/H₂O₂ solution-modified organic carbon rich-clay for hexavalent chromium and methyl orange uptake from solutions. *Journal of Molecular Liquids*, 259, 384-397.
- [35] Tunali Akar, S., Sayin, F., Ozdemir, I. & Tunc, D. (2020). A natural montmorillonite-based magsorbent as an effective scavenger for cadmium contamination. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231 (8), 409.
- [36] Söğüt, E. G. & Kılıç, N. Ç. (2020). Equilibrium and kinetic studies of a cationic dye adsorption onto raw clay. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 7 (3), 713-726.
- [37] Sayin, F., Tunali Akar, S. & Akar, T. (2021). From green biowaste to water treatment applications: Utilization of modified new biochar for the efficient removal of ciprofloxacin. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 24, 100522.
- [38] Chatterjee, A., Basu, J. K. & Jana, A. K. (2019). Alumina-silica nano-sorbent from plant fly ash and scrap aluminium foil in removing nickel through adsorption. *Powder Technology*, 354, 792-803.
- [39] Hadi, M., Samarghandi, M. R. & McKay, G. (2010). Equilibrium two-parameter isotherms of acid dyes sorption by activated carbons: Study of residual errors. *Chemical Engineering Journal*, 160 (2), 408-416.
- [40] Mahramanlioglu, M., Kizilcikli, I. & Bicer, I. O. (2002). Adsorption of fluoride from aqueous solution by acid treated spent bleaching earth. *Journal of Fluorine Chemistry*, 115 (1), 41-47.
- [41] Tahir, S. S. & Rauf, N. (2006). Removal of a cationic dye from aqueous solutions by adsorption onto bentonite clay. *Chemosphere*, 63 (11), 1842-1848.
- [42] Foo, K. Y. & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156 (1), 2-10.
- [43] de Moraes Pinos, J. Y., de Melo, L. B., de Souza, S. D., Marçal, L. & de Faria, E. H. (2022). Bentonite functionalized with amine groups by the sol-gel route as efficient adsorbent of rhodamine-B and nickel (II). *Applied Clay Science*, 223, 106494.
- [44] Ibigbami, T. B., Adeola, A. O., Olawade, D. B., Ore, O. T., Isaac, B. O. & Sunkanmi, A. A. (2022). Pristine and activated bentonite for toxic metal removal from wastewater. *Water Practice and Technology*, 17 (3), 784-797.
- [45] Abdelfattah, I., Abdelwahab, W. & El-Shamy, A. M. (2022). Montmorillonitic clay as a cost effective, eco-friendly and sustainable adsorbent for physicochemical treatment of contaminated water. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65 (2), 687-694.
- [46] Singh, J. & Mishra, V. (2022). Development of sustainable and ecofriendly metal ion scavenger for adsorbing Cu²⁺, Ni²⁺ and Zn²⁺ ions from the aqueous phase. *Separation Science and Technology*, 57 (3), 354-371.
- [47] Díaz, A., Marrero, J., Cabrera, G., Coto, O. & Gómez, J. M. (2022). Optimization of nickel and cobalt biosorption by native *Serratia marcescens* strains isolated from serpentine deposits using response surface methodology. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194 (3), 167.
- [48] Gratia, Z. K., Nandhakumar, R., Mahanty, B., Murugan, S., Muthusamy, P. & Vinayak, K. S. (2021). Biosorption of nickel from metal finishing effluent using lichen *Parmotrema tinctorum* biomass. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232 (11), 478.
- [49] İnan, S. & Özkan, B. (2021). Sorption of cobalt and nickel on *Narcissus tazetta* L. leaf powder. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 8 (3), 705-714.
- [50] Çelebi, H., Bahadır, T., Şimşek, İ., Tulun, Ş. & Bilgin, M. (2022). Çöp döngüsünün etkili bileşeni: Poşet çay atıkları ve Ni⁺² adsorpsiyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 62-69.

Araştırma Makalesi - Research Article

DH-PIM İletim Yöntemi için Bir Hata Düzeltme Yapısı

An Error Correction Structure for DH-PIM Transmission Method

Mehmet Sönmez^{1*}

Geliş / Received: 23/01/2022

Revize / Revised: 06/04/2022

Kabul / Accepted: 10/05/2022

ÖZ

Yapılan çalışmada optik haberleşme sistemleri için önerilen DH-PIM yöntemi için hata düzeltme yapılarının performans analizi incelenmiştir. Silme ve Yanlış Alarm hataları için uygulanabilir bir sistem modeli Görünür Işık Haberleşme (Visible Light Communication: VLC) sistemlerine entegre edebilmek için elde edilmiştir. Yapılan çalışmada model için teorik bir analiz verilmiştir. Silme hatası yapısı için bir FPGA (Field Programmable Gate Arrays: Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri) derleyicisi Quartus programında yeni bir sayısal devre tabanlı mimari geliştirilmiştir. Sonuçlar Modelsim-Altera Programında zamana göre incelenmiştir. Alınan sonuçlara göre, önerilen sayısal devre tabanlı hata düzeltme yapısının başarılı bir şekilde hatalı slotları düzeltbildiği görülmüştür. Ayrıca teorik ifadesi elde edilen hem silme hatası hem de yanlış alarm hatası için slot hata oranı performansları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre geleneksel DH-PIM (G-DHPIM) sistemine göre sadece silme hatası uygulanan sistem (S-DHPIM) daha iyi bir slot hata performansı vermiştir. Ayrıca, hem silme hatası hem de yanlış alarm hatası uygulanan DH-PIM sisteminin (SY-DHPIM) de S-DHPIM göre daha iyi bir slot hata performansı verdiği izlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- DH-PIM, FPGA, Hata Düzeltme, VLC

ABSTRACT

In the study, the performance analysis of error correction structures has been investigated for the DH-PIM method which is proposed for optical communication systems. A suitable system model for erasure and false alarm errors are obtained to join the Visible Light Communication (VLC) Systems. A theoretical framework is given for the model in this paper. New digital circuit based architecture is improved for erasure error structure in a FPGA (Field Programmable Gate Arrays) compiler Quartus. The results are investigated in the Modelsim-Altera simulator in terms of the time chart. According to obtained results, it is shown that proposed digital circuit based architecture can successfully correct the error slots. Additionally, the performance of slot error rate has been analyzed for both erasure and false alarm errors of which the theoretical frameworks are obtained. It is shown from results that erasure error correction system (S-DHPIM) has better slot error rate performance than that of traditional DH-PIM (G-DHPIM). Addition to this, it is indicated that DH-PIM with erasure and false alarm correction structure (SY-DHPIM) gives better slot error performance compared with the S-DHPIM.

Keywords- DH-PIM, FPGA, Error Correction, VLC

^{1*}Sorumlu yazar iletişimi: mehmetsonmez@osmaniye.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-6025-3734>)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Osmaniye, Türkiye

I. GİRİŞ

Düşük güçte veri iletimine imkan tanıyan Görünür Işık Haberleşme sistemleri, günümüzde hem kapalı ortam hem de dış ortam haberleşmesi için birçok araştırmacı tarafından ilgi odağı olmuştur [1-4]. Özellikle artan veri trafiği probleminin üstesinden gelebilmek için RF (Radio Frequency: Radyo Frekans) sistemler ile birlikte kapalı ortam haberleşmesinde yüksek veri hızlarını desteklemek için aday bir haberleşme sistemi olarak görülmektedir [5,6]. Bu nedenle haberleşme sistemlerinin spektrum verimliliğini geliştirmenin oldukça büyük önem arz ettiği görülmektedir [7,8]. Yapılan çalışmalar incelendiğinde biyomedikal [9], güç hattı haberleşmesi [10], su altı haberleşmesi [11] gibi birçok alanda VLC yönteminin uygulandığı görülmektedir.

Görünür ışık haberleşme sistemlerine birçok kodlama algoritması uygulanmış olup, önerilen sistemler OOK (On-Off Keying: Aç-Kapa Anahtarlama) yöntemini kullanmaktadırlar [12]. Bu yöntemler için ana problemlerden birisi hedef karartma seviyesinin ayarlanması olmuştur [13]. Genellikle yapılan çalışmalarda hedef karartma seviyesi, titreşimi önlemek için belirli bir süre aynı parlaklıkta veri iletiminin sağlanması için ayarlanmaktadır [14]. Literatürde hedef karartma seviyesini ayarlayabilmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlar modülasyon tabanlı yöntemler ve kodlama tabanlı yöntemler olarak da gruplandırılabilirler. Modülasyon tabanlı yöntemler OOK ve PPM gibi şemaların geliştirilerek VOOK ve VPPM yöntemlerinin önerilmesi olarak ifade edilebilmektedir [15]. Kodlama tabanlı yöntemlerde ise kompanzasyon süresi (CT: Compansation Time) algoritmalarının geliştirilmesi ile birlikte uzun süreli '1' veya '0' bilgi paketinden sonra gönderilerek hedef karartma seviyesinin başarımlı gerçekleştirilebilmektedir [14].

Görünür ışık haberleşme sistemlerinde birçok modülasyon yöntemi önerilmesine rağmen PPM tabanlı bazı modülasyon yöntemleri iletilen fazlalık slot süresini kısaltmaya yönelik geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden önde gelenlerden birisi Kısaltılmış PPM yöntemidir (Shortened PPM) [16]. SPPM şeması, geleneksel PPM şemasında kodlanan slotların en anlamlı olanlarının sadece bir slot biti ile (0 veya 1 seviyesi) ifade edilmesiyle tasarlanmıştır. Verilen yöntem slot sayısının kısaltmasına olanak vermesine rağmen kullanılan bir bitin tahmini için eşik değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle SPPM yönteminde en anlamlı bitin tahmininde adaptif bir eşik değeri algılayıcısı kullanılmaması durumunda, BER performansı düşecektir. Ancak en anlamsız dört slot'un tahmininde geleneksel PPM alıcı şemasının kullanılması oldukça önemlidir. Slot tabanlı algılama şemalarının kullanılması durumunda ise hatalı sonuç almamak için bu çalışmada analiz edilen silme veya yanlış alarm hatalarının göz önünde bulundurulması şarttır. Aksi takdirde alıcı birim, seviyesi tahmin edilen slotlara (0 veya 1 olma durumu) karşılık gelen bilgi bitlerini çözemeyeceği için hatalı bir demodülatör tasarımı gerçekleştirilmiş olur [17]. SPPM yönteminde verilen kodlanmış bitlerin sayısını düşürmek için bir Ofset PPM (Offset-PPM) şeması önerilmiştir. Ofset PPM şeması, SPPM ile karşılaştırıldığında kodlanmış slotların sayısını beş slottandört slota düşürmektedir. Ancak Ofset PPM şemasında bütün slotlar için seviye tahmininde adaptif bir eşik değeri tahminine ihtiyaç duyulmakta olduğundan silme ve yanlış alarm hataları da dikkate alınmalıdır [17]. SPPM ve Ofset PPM yöntemlerine göre güç ve band genişliği verimliliği açısından daha avantajlı yöntemler olan DPIM (Digital Pulse Interval Modulation) ve DH-PIM (Dual Header-Pulse Interval Modulation) gibi bazı asenkron modülasyon yöntemleri de önerilmiştir [18]. DPIM yöntemi her paketten önce bir dolu slot iletmekte ve bilgi bitinin desimal değeri kadar sıfır slot iletmektedir [19]. Ancak DH-PIM, kullanılacak şemanın tipine göre dolu slot sayısında ve süresinde değişiklik oluşturabilmektedir [20]. Bu yöntemlerde simgelerarası girişimi önlemek için koruma bantları da kullanılabilirlerdir.

Görünür ışık haberleşme sistemlerinde, sistemin BER performansını artırmak için birçok çalışmada ileri hata düzeltme (FEC: Forward Error Correction) kodları yaygın olarak uygulanmıştır. Yapılan çalışmalarda OOK yönteminin veri iletiminde kullanılması nedeniyle önemli katkılar, hedef karartma seviyesinin kontrolünün sağlanması üzerine düşünülmüştür [13]. 2011 yılında yapılan bir çalışmada değiştirilmiş Reed-Muller (RM) kodları kullanılarak yeni bir FEC kod yapısı önerilmiştir [21]. Önerilen çalışma OOK yöntemi kullanılması nedeniyle hata düzeltmenin yanında karartma seviyesi ayarlamak için bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bir diğer geliştirilmiş Reed-Muller yöntemi Bent fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Önerilen çalışmada minimum kompanzasyon süresinin başarımlı üzerinde çalışılmıştır [22]. 2015 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada LDPC (Low-Density Parity-Check) kod tabanlı adaptif bir FEC şeması önerilmiştir. Önerilen çalışmada karartma kontrolünün sağlanması için daha az sayıda karartma kontrol bitinin kullanılması amaçlanmıştır [23]. 2017 yılında yapılan bir çalışmada Kutupsal Kodlar (Polar Codes) da OOK yöntemine uygulanarak, karartma kontrolü açısından Reed-Muller ve LDPC kodlar ile karşılaştırıldığında daha iyi bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca önerilen Kutupsal Kodlu VLC sistemin BER performansı açısından da Reed-Muller ve LDPC yöntemlerine göre daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür [24].

Yapılan çalışmada literatürden farklı olarak herhangi bir hata düzeltme kodu kullanmadan DH-PIM yönteminin yapısı kullanılarak hatalı olan slotların düzeltilmesi amaçlanmıştır. DPIM yöntemi için silme hatası düzelten bir çalışmada uygulanan yöntemin slot hata oranını başarılı bir şekilde geliştirdiği görülmüştür [25]. Bu çalışmada DPIM yönteminden farklı slot uzunluğunda ve yapıda olan DH-PIM yöntemi için uygulanabilir bir slot düzeltme yönteminin performans analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca literatürde asenkron modülasyon yöntemleri için hata düzeltme yapısını içeren bir sayısal tasarım devre yapısının incelenmediği görülmektedir. Bu nedenle önerilen hata düzeltme yapısı için bir teorik analiz gerçekleştirilerek yeni bir sayısal tasarım modeli Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA) derleyicisinde gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre uygulanan yöntemlerin DH-PIM şemasının hatalı slotlarını başarılı bir şekilde düzeltebildiği gözlemlenmiştir.

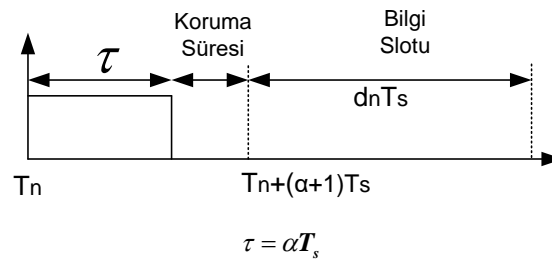
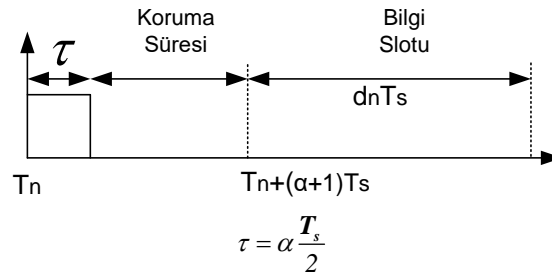
II. DH-PIM YÖNTEMİ

DH-PIM yöntemi bir asenkron iletişim şeması olarak optik haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bir önceki bölümde ifade edildiği gibi yöntemin yapısı, iletilecek olan bilgi bitlerinin desimal değeri kadar iletilecek olan sıfır seviyesindeki slotların sayısı ile ilgilidir. Tablo-1’de bazı modülasyon yöntemlerinin kodlanmış şemaları verilmektedir.

Tabloda verilen PCM iletilecek olan bilgi bitlerini gösteriyorken, bu bitlere karşılık modülasyon şemaları için kodlanan slot yapıları da PPM, Ofset PPM, Kısaltılmış PPM, DPIM ve DH-PIM2 olarak ifade edilmektedir. DH-PIM yöntemi için ifade edilen alt indis değeri bilgi slotlarından önce iletilecek olan maksimum dolu slot sayısını ifade etmekte olup, Şekil-1’de detaylandırılmıştır. Tabloda görüldüğü gibi Ofset PPM ve Kısaltılmış PPM yöntemleri geleneksel PPM yöntemine göre daha az sayıda slot içermektedir. DPIM ve DH-PIM yöntemleri de iletilecek olan bilgi bitinin durumuna göre slot sayısını çok daha fazla düşürebilmektedir.

Tablo 1. Modülasyon yöntemlerinin PCM (Darbe Kod Modülasyonu) bitlerine göre slot yapıları

PCM	PPM	Ofset PPM	Kısaltılmış PPM	DPIM	DH-PIM ₂
000	00000001	0000	00001	1	100
001	00000010	0001	00010	10	1000
010	00000100	0010	00100	100	10000
011	00001000	0100	01000	1000	100000
100	00010000	1000	10001	10000	110000
101	00100000	1001	10010	100000	110000
110	01000000	1010	10100	1000000	1100
111	10000000	1100	11000	10000000	110



Şekil 1. DH-PIM yönteminin zamana göre ifadesi [20]

Şekil 1’de DH-PIM yönteminin zamana göre iletim şeması görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi DH-PIM yöntemi α parametresinin alacağı değere göre dolu slotun süresini ayarlayabilmektedir. Her dolu olan slottan sonra bir koruma süresi eklenerek simgeler arası girişimin önlenmesi amaçlanmıştır. Koruma slot süresi ve dolu darbenin süresi bilinmesi durumunda $d_n T_s$ süresi ile bilgi bitleri algılanabilmektedir.

DH-PIM yöntemi için hata düzeltme yapıları kullanılarak slot hatalarını düzelten algoritmalar geliştirilebilmektedir. Bu nedenle DH-PIM sinyalinin Tablo 1’de de verilen bazı slot özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir. Herhangi bir hata düzeltme kodu kullanmadan slot hatalarının düzeltilebilir olması DH-PIM şeması için bir avantaj olarak değerlendirilebilir.

III. DH-PIM YÖNTEMİ İÇİN HATA TÜRLERİ

Bu bölümde DH-PIM yöntemi için kullanılabilir hata düzeltme yapıları verilmektedir. Tablo-1 incelendiğinde DH-PIM yönteminde art arda gelebilecek sıfır sayısı (PCM bit sayısı 3 için) toplamda beş adettir. Beş adet sıfır, PCM bitlerinin 011 olduğu durum için 100000 olarak slot çıkışı veren DH-PIM sinyali için alınmıştır. Bu nedenle Şekil 2’de verilen yapı DPIM yönteminde olduğu gibi uygulanabilir bir silme hatası olarak değerlendirilebilmektedir.

Bit_sirasi	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
hatali_bitler	1				0								1
dogru_bitler	1		0			1		0		1		0	1

Şekil 2. DH-PIM Slot sırası

Şekil 2’de Bit_sirasi, hatali_bitler ve dogru_bitler satırındaki literal olarak çizdirilen bitlerin sırasını vermektedir. Tablo 1’den görüldüğü gibi 3 bit ile kodlanan DH-PIM2 sinyalin art arda üreteceği sıfır ('0') seviyesi en fazla 5 tanedir. Ancak Şekil 2’de hatali_bitler satırındaki 10-17 sıraları arasındaki bitler toplamda 8 adet olup, sıfır seviyesindedir. 13 ve 14 numaralı bitlerin bir seviyesinde olması gerekliliği dogru_bitler satırından görülmektedir. Bu durum silme hatası olarak adlandırılmaktadır [26]. Ayrıca Tablo-2’de görüldüğü gibi art arda gelebilecek bir seviyesi en fazla iki tanedir. İki den fazla art arda bir seviyesinin olma durumu da hata olarak algılanmaktadır. Şekil 2’den görüldüğü gibi 18-21 numaralar aralığındaki slotlar (toplam dört tane) bir seviyesinde üretilmiştir. Bu durum da DH-PIM2 sinyali için hatalı durum olarak adlandırılmaktadır. Yapılan çalışmada slot hata oranını iyileştirmek için Şekil 2’de verilen hatalı slotların düzeltilmesi amaçlanmaktadır.

A. Hata Düzeltme Yöntemleri

DH-PIM yöntemi için tanımlanan hata yapıları için iki farklı hata düzeltme yöntemi bu bölümde verilmektedir. Tanımlanan birinci hata, art arda gelen sıfır sayısının beşten fazla olması ve diğeri art arda gelen bir sayısının üç olması durumudur. Önerilen hata düzeltme yapılarını ifade edebilmek için öncelikle fotodiyot tarafından algılanan DH-PIM sinyalinin ifadesi tanımlanmalıdır.

$$s(t) = y(t) + n(t) \quad (1)$$

Denklemden $y(t)$, DH-PIM sinyali ifade ediyorken $n(t)$ algılayıcı nedeniyle oluşan gürültüyü ifade etmektedir. Verilen eşitlikte $s(t)$, LED tarafından yayılan ışığın algılandığı fotodiyot tarafından üretilen sinyal olarak tanımlanabilir. Alıcı tarafta bir bit periyodu süresince algılanan sinyalin integrali alınarak bir eşik değeri ile karşılaştırılmaktadır.

$$i(t) = \int_0^{T_s} s(t)dt \quad (2)$$

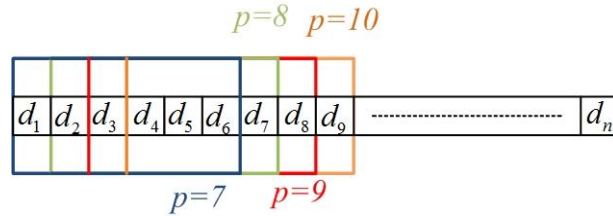
Alınan sinyalin bir slot süresince integrali alındıktan sonra bir eşik değeri ile karşılaştırma sonucunda slot’un mantıksal seviyesi belirlenir. Mobil bir kullanıcı için veri iletişiminin sağlanabilmesi için mesafeye göre optik güç değiştiğinden ayarlanabilir bir eşik değerine ihtiyaç vardır.

B. Silme Hatası Düzeltme

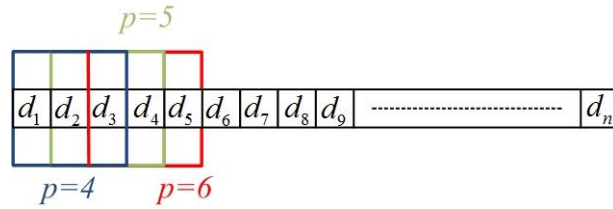
Denklemden 2’de verilen integral eşitlikleri kullanılarak hata düzeltme yapıları oluşturulabilmektedir. Öncelikli olarak art arda gelen slotların seviyeleri kontrol edilmelidir.

$$t_p = \sum_{p=7}^n \sum_{j=1}^6 d_{p-j} \quad (3)$$

Eşitlikte p iletilen slot paketlerinin numarası için bir indis olarak ifade edilmiş olup, n değeri toplam slot sayısını göstermektedir. Verilen eşitlikte j değeri bir paketteki slotun sıra numarasını gösteriyorken d değeri slotun seviyesini (1 veya 0) göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 3. Hata Düzeltme Yapıları. (a) Silme Hatası Düzeltme için Paket Slot Yapısı (b) Yanlış Alarm Hatası Düzeltme için Paket Slot Yapısı

Şekil 3'te, silme hatası düzeltme için verilen Denklem 3'teki ifadenin şekilsel tanımı verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi 6 slot olarak sinyaller paketlenmiş olup, her paket çerçeve-çerçeve sağa doğru kaydırılmaktadır. Çerçeve şeklindeki tarama sayesinde bütün komşu slotların seviyeleri kontrol edilmektedir. Denklem 3'te t_{p-7} değerinin sıfırdan farklı olması durumunda pakette '1' seviyesinde slot olduğu ifade edilmektedir. Ancak t_{p-7} değeri sıfıra eşit olması ise hatalı slot durumu olarak ifade edilmektedir. t_{p-7} değerinin sıfıra eşit olduğu durum için ilgili paketteki slotların integral değerleri kontrol edilerek en büyük integral değerine sahip olan slot '1' seviyesine atanmaktadır. Herhangi bir p değeri için maksimum integralin elde edildiği indeks aşağıdaki denklemde verildiği gibi ifade edilebilir.

$$j = \arg \max(i_{p-1}; i_{p-2}; i_{p-3}; i_{p-4}; i_{p-5}; i_{p-6}) \quad (4)$$

$$d_{p-j} = '1' \quad (5)$$

Denklem 4'te integral değerleri $i_{p,j}$ ile ifade edilirse, en büyük integral değerinin indisi j değerine atılmaktadır. Denklem 5'te ifade edildiği gibi, en büyük integral değerine sahip olan slot sıfır seviyesinden bir seviyesine çekilmektedir.

C. Yanlış Alarm Hatası

Yanlış alarm hatasına göre sıfır seviyesindeki bir slot, integral değeri eşik değerinin üzerinde algılandığı için bir seviyesine atanması ile oluşmaktadır. Bu durumda ilgili slot sıfır seviyesine çekilmektedir. DH-PIM sinyallerinin yapısı incelendiğinde, Tablo 1'e göre art arda gelen slot'lardan en fazla iki tanesi bir seviyesindedir. İki'den fazla slot mantıksal bir seviyesinde olursa yanlış alarm hatası olarak değerlendirilerek, bir slot sıfır seviyesine çekilmektedir. Bu durum Denklem 6'da ifade edilmiştir.

$$a_p = \sum_{p=4}^n \sum_{j=1}^3 d_{p-j} \quad (6)$$

Denklem 6'da verilen ifadenin şekilsel gösterimi Şekil 3b'de görüldüğü gibidir. Şekilden görüldüğü gibi kontrol edilen slotlar, ardışık üçlü slotlardır. Denklem 6'da verilen toplam sonucu 3 olduğunda yani art arda gelen bitlerin sayısı 3 olduğunda yanlış alarm hatası olduğu değerlendirilmektedir. Silme hatasında olduğu gibi, yanlış alarm hatasında da maksimum değere sahip integral değerinin elde edilmesi gerekmektedir.

$$j = \arg \max(i_{p-1}; i_{p-2}; i_{p-3}) \quad (7)$$

$$(j = 3 \rightarrow d_{p-1} = 0) \wedge (j = 1 \rightarrow d_{p-3} = 0) \quad (8)$$

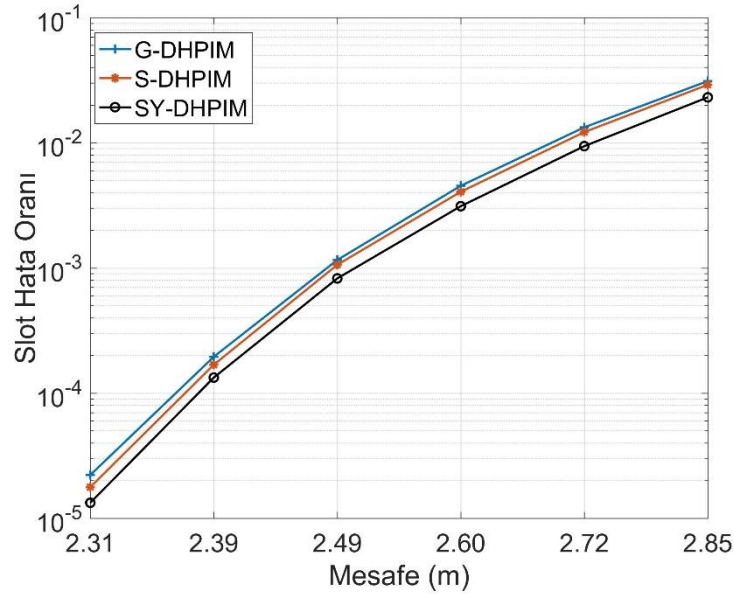
Denklem 7’de art arda gelen slotların integral değerlerinden en büyük değere sahip olan slotun indeks değeri elde edilmektedir. Denklem 8’de ise j değerinin 3 olması durumunda dp-1 numaralı slot 0 değerini alırken j değerinin 1 olması durumunda dp-3 numaralı slot sıfır değerini almaktadır. Farklı bir ifade ile sıralı üç slot arasından üçüncü sıradaki slot en büyük integral değerine sahipse, bir numaralı slot sıfır değerine çekilmektedir. Birinci sıradaki slotun en büyük integral değerine sahip olması durumunda ise üç numaralı slot mantıksal sıfır seviyesine çekilmektedir.

Yukarıda verilen karşılaştırmalara ek olarak iki numaralı slotun en büyük integral değerine sahip olma durumu mevcuttur. Bu durumda birinci ve üçüncü slotların integral değerleri karşılaştırılarak, karşılaştırma sonucuna göre birinci veya üçüncü slotlardan birisi sıfır seviyesine çekilmektedir. Bu durumda j değeri ikiye eşit olacaktır ve ilgili durum Denklem 9 ile ifade edilmektedir.

$$(i_{p-1} < i_{p-3} \rightarrow d_{p-1} = 0) \wedge (i_{p-1} > i_{p-3} \rightarrow d_{p-3} = 0) \quad (9)$$

IV. SİMÜLASYON SONUÇLARI

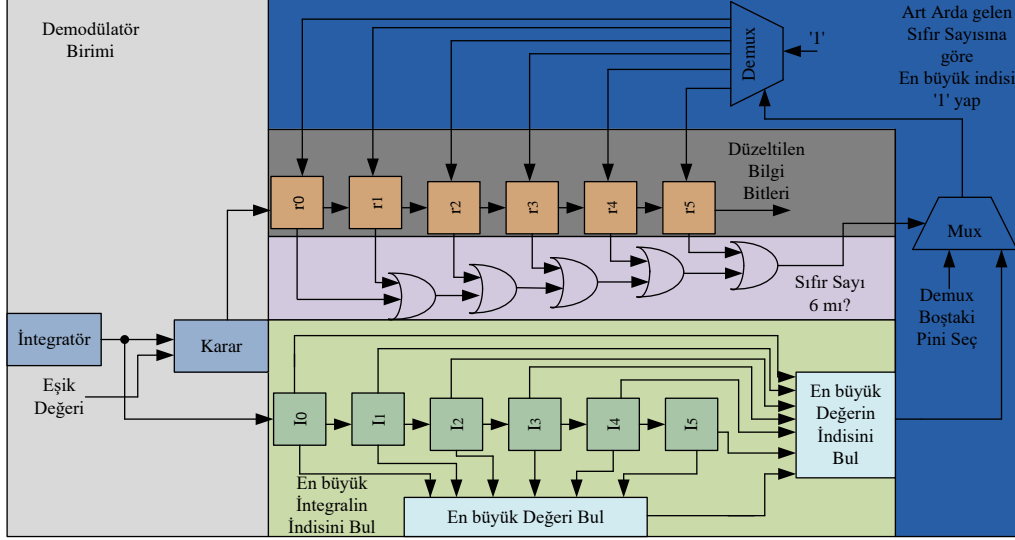
Bu bölümde DH-PIM yönteminin AWGN (Additive White Gaussian Noise) kanalındaki performansı verilerek bir önceki bölümde teorik olarak ifade edilen hata düzeltme yapılarının slot hata oranı performansının analizi gerçekleştirilmiştir. Simülasyonunda üç farklı durum dikkate alınmıştır. Birinci durum, hata düzeltme yapısı olmadan; ikinci durum, silme hatası düzeltme yöntemi uygulanarak; son durumda ise hem silme hem de yanlış alarm hatalarının DH-PIM alıcı sisteme uygulanmasıyla elde edilen sonuçlarıdır. Şekil 4’te DH-PIM yönteminin slot hata oranı performansı için elde edilen simülasyon sonuçları verilmektedir.



Şekil 4. DH-PIM için slot hata oranı performansı

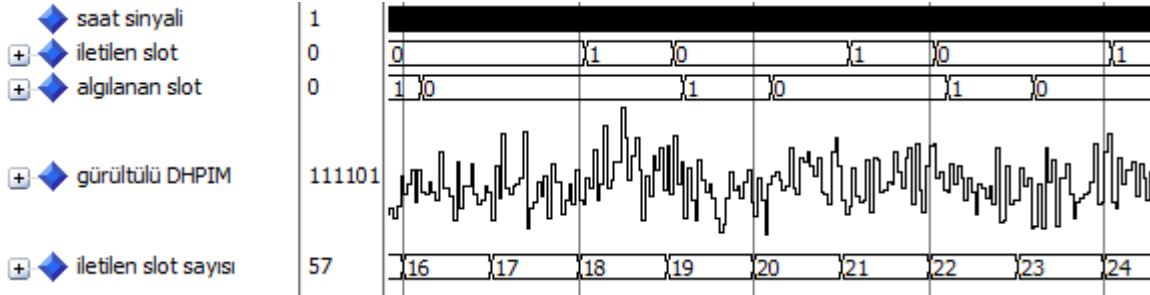
Şekil 4’te verilen grafikte, G-DHPIM geleneksel DH-PIM yöntemini göstermektedir. Verilen şekilde gürültünün standart sapması 0.497’dir. Şekilden görüldüğü gibi mavi çizgi ile görülen G-DHPIM yöntemi diğer alıcı sistemlere göre daha düşük bir hata performansı vermiştir. Geleneksel yöntemde sadece silme hatası uygulanarak elde edilen sonuçlar (S-DHPIM performansı) G-DHPIM yöntemine göre daha iyi bir hata performansı vermiştir. Son olarak hem silme hem de yanlış alarm hatasını algılayan sistemin performansı incelendiğinde geleneksel DH-PIM yöntemine göre çok iyi bir sonuç verdiği gözlemlenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre geleneksel DH-PIM yöntemine, hata düzeltme yapılarının uygulanması ile alıcı-verici arasındaki iletişim mesafesinde artış olabileceği gözlemlenmektedir.

Silme hatası düzeltimi için bir FPGA derleyicisinde sayısal bir devre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen sayısal tasarım modeli Şekil 5'te görüldüğü gibidir.

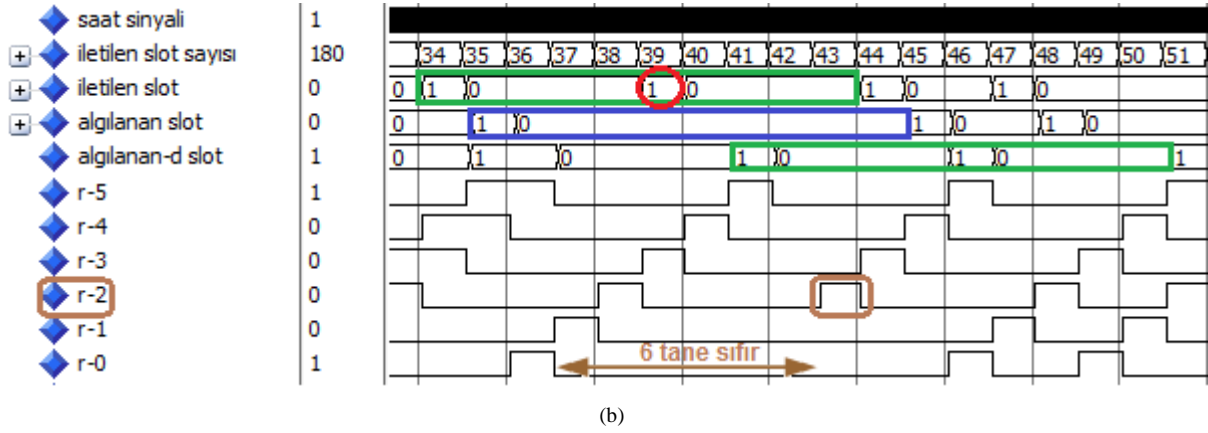


Şekil 5. Silme hatası düzeltme yapısı için önerilen sayısal devre mimarisi

Şekil 5'te integratör girişine uygulanan DH-PIM sinyalinin slot süresince integrali alınarak karar devresine uygulanmaktadır. Karar devresi çıkışından slotların seviyeleri algılanarak r0-r5 kaydedici devresine uygulanmıştır. Kaydedici devre kaydırmalı kaydedici gibi işlem yaparak sıralı 6 adet slotun durumunu kontrol etmek için veya kapılarına uygulanmışlardır. 6 adet sıralı slotun tamamının seviyesinin '0' olduğu durumda veyakapıları çıkışı mantıksal '0' seviyesinde sinyal üretecektir. r0-r1 kaydedicilerinin birisinin mutlaka mantıksal '1' seviyesinde olması zorunluluğu nedeniyle silme hatasının düzeltilebilmesi için maksimum değere sahip integral değerinin indisinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle integratör çıkışının uygulandığı I0-I5 aralığındaki integral değer kaydedicilerinin en büyük değeri bulduktan sonra bir karşılaştırıcı yapısı içeren *En büyük Değerin İndisini Bul* bloğu sayesinde indis değeri bulunarak mux bloğuna uygulanmıştır. veyakapısı çıkışlarının '1' olması durumunda demux bloğunun seçici pin girişine ilgili indisin ifade edildiği kaydedici girişi '1' seviyesine çekilmektedir. Diğer durumda demux bloğunun bağlantı olmayan herhangi bir çıkışı aktif edildiğinden r0-r5 kaydedicilerinin seviyesi etkilenmeyecektir. Şekil 6'da önerilen sayısal devre mimarisi için elde edilen simülasyon sonuçları verilmiştir.



(a)



Şekil 6. Önerilen mimarisi için simülasyon sonuçları. (a) alınan sinyalin değişimi (b) Hata düzeltme yapısı için alınan sonuçlar

Şekil 6.a'da iletilen slot ve algılanan slotlar integratör devresi çıkışının hesaplama süresi nedeniyle bir slot sürelik fark ile elde edilmiştir. *Gürültülü DH-PIM* sinyali ise integratör bloğuna uygulanan sinyali göstermektedir. Şekil 6.b'de ise algılanan slot ile düzeltme devresinden geçirilen slotlar (*algılanan-d slot*) arasındaki sürenin 6 slot olduğu görülmektedir. İletilen slot sayısı 39 olduğunda, iletilen slotun mantıksal seviyesinin '1' olduğu görülmekteyken algılanan slot gürültü nedeniyle '0' seviyesindedir. r-0 kaydedicisi çıkışından görüldüğü gibi, iletilen slot sayısı 42 olduğu anda r0-r6 slotlarının tamamı '0' seviyesindedir. Bu nedenle hata düzeltme yapısı aktif olup, 39 numaralı bitin düzeltilme işlemi iletilen slot sayısı 46 olduğu anda *algılanan-d slot* mantıksal '1' seviyesindedir. Sonuçlara göre önerilen sayısal devre tabanlı hata düzeltme mimarisinin başarılı bir şekilde hata düzeltme işlemini gerçekleştirdiği görülmektedir.

V. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada DH-PIM yöntemi için tanımlanan hata yapılarının analizi gerçekleştirilmiştir. Silme ve yanlış alarm hataları için teorik bir analiz gerçekleştirilerek, yöntemlerin uygulanabilir oldukları gösterilmiştir. Sonuçlara göre S-DHPIM yönteminin slot hata oranı performansı açısından geleneksel DH-PIM yöntemine göre daha iyi bir sonuç verdiği izlenmişken, SY-DHPIM yöntemine göre daha düşük bir performans vermiştir. Ayrıca DH-PIM modülasyon yöntemi için hata düzeltme yapısını içeren bir sayısal tasarım devre yapısı ilk kez önerilmiştir. Önerilen sayısal tasarım modeli Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA) derleyicisinde gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre uygulanan yöntemlerin DH-PIM şemasının hatalı slotlarını başarılı bir şekilde düzeltebildiği gözlemlenmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda gerçek zamanlı olarak DH-PIM yönteminin FPGA üzerinde tasarımı gerçekleştirilerek, alıcı-verici arasındaki mesafeye göre hata düzeltme yapılarının performansı incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Zhao, Q., Jiang, J., Wang, Y., & Du, J. (2020). A low complexity power allocation scheme for NOMA-based indoor VLC systems. *Optics Communications*, 463, 125383.
- [2] Ji, Y. W., Wu, G. F., Wang, C., & Zhang, E. F. (2018). Experimental study of SPAD-based long distance outdoor VLC systems. *Optics Communications*, 424, 7-12.
- [3] Uysal, M., Ghassemlooy, Z., Bekkali, A., Kadri, A., & Menouar, H. (2015). Visible light communication for vehicular networking: Performance study of a V2V system using a measured headlamp beam pattern model. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 10, 45-53.
- [4] Kim, H. S., Kim, D. R., Yang, S. H., Son, Y. H., & Han, S. K. (2012). An indoor visible light communication positioning system using a RF carrier allocation technique. *Journal of lightwave technology*, 31, 134-144.
- [5] Kashaf, M., Ismail, M., Abdallah, M., Qaraqe, K. A., & Serpedin, E. (2016). Energy efficient resource allocation for mixed RF/VLC heterogeneous wireless networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34, 883-893.
- [6] Khreishah, A., Shao, S., Gharaibeh, A., Ayyash, M., Elgala, H., & Ansari, N. (2018). A hybrid RF-VLC system for energy efficient wireless access. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, 2, 932-944.
- [7] Yesilkaya, A., Basar, E., Miramirkhani, F., Panayirci, E., Uysal, M., & Haas, H. (2017). Optical MIMO-OFDM with generalized LED index modulation. *IEEE Transactions on Communications*, 65, 3429-3441.

- [8] Chen, M., Lu, H., Chen, D., Jin, J., & Wang, J. (2020). An efficient MIMO-OFDM VLC system of combining space time block coding with orthogonal circulant matrix transform precoding. *Optics Communications*, 473, 125993.
- [9] Ng, X. W., & Chung, W. Y. (2012). VLC-based medical healthcare information system. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, 24, 155-163.
- [10] Ma, H., Lampe, L., & Hranilovic, S. (2017). Hybrid visible light and power line communication for indoor multiuser downlink. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 9, 635-647.
- [11] Mahmutoğlu, Y., Albayrak, C., & Türk, K. (2020). Investigation of Underwater Wireless Optical Communication Channel Capacity for Different Environment and System Parameters. *Hittite Journal of Science and Engineering*, 7, 279-285.
- [12] Yang, F., Fang, J., Xiao, S., Chen, Z., & Hu, W. (2021). Shaped polar codes for dimmable visible light communication. *Optics Communications*, 496, 127126.
- [13] Guo, J. N., Zhang, J., Zhang, Y. Y., Li, L., Zuo, Y., & Chen, R. H. (2020). Multilevel transmission scheme based on parity check codes for VLC with dimming control. *Optics Communications*, 467, 125733.
- [14] Belli, R., Runge, C., Portugheis, J., & Finamore, W. (2022). A capacity-approaching coding scheme for M-PAM VLC systems with dimming control. *Optics Communications*, 127891.
- [15] Raj, R., Jaiswal, S., & Dixit, A. (2021). Dimming-Based Modulation Schemes for Visible Light Communication: Spectral Analysis and ISI Mitigation. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 1777-1798.
- [16] Sui, M., & Zhou, Z. (2009, February). The modified PPM modulation for underwater wireless optical communication. *2009 international conference on communication software and networks*, 27-28 Şubat, Chengdu, Çin.
- [17] Sibley, M. J. (2011). Analysis of offset pulse position modulation-a novel reduced bandwidth coding scheme. *IET optoelectronics*, 5, 144-150.
- [18] Ray, I., Sibley, M. J., & Mather, P. J. (2011). Performance analysis of offset pulse-position modulation over an optical channel. *Journal of lightwave technology*, 30, 325-330.
- [19] Ghassemlooy, Z., Hayes, A. R., Seed, N. L., & Kaluarachchi, E. D. (1998). Digital pulse interval modulation for optical communications. *IEEE Communications Magazine*, 36, 95-99.
- [20] Aldibbiat, N. M., Ghassemlooy, Z. F., & McLaughlin, R. (2001). Performance of dual header-pulse interval modulation (DH-PIM) for optical wireless communication systems. *Optical Wireless Communications*, 4214, 144-152.
- [21] Kim, S., & Jung, S. Y. (2011). Novel FEC coding scheme for dimmable visible light communication based on the modified Reed-Muller codes. *IEEE photonics technology letters*, 23, 1514-1516.
- [22] Kim, S., & Jung, S. Y. (2012). Modified Reed-Muller coding scheme made from the bent function for dimmable visible light communications. *IEEE Photonics Technology Letters*, 25, 11-13.
- [23] Kim, S. (2014). Adaptive FEC codes suitable for variable dimming values in visible light communication. *IEEE Photonics Technology Letters*, 27, 967-969.
- [24] Wang, H., & Kim, S. (2017). Dimming control systems with polar codes in visible light communication. *IEEE Photonics Technology Letters*, 29, 1651-1654.
- [25] Ayten, K., & Sönmez, M. (2020). Dijital Aralıklı Darbe Modülasyonu Tekniği için Hata Düzeltme Kodlarının Performans Analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8, 708-720.
- [26] Aldibbiat, N. M., Ghassemlooy, Z., & McLaughlin, R. (2001). Error performance of dual header pulse interval modulation (DH-PIM) in optical wireless communications. *IEE Proceedings-Optoelectronics*, 148, 91-96.

Araştırma Makalesi - Research Article

Diamino-süstitüe Halkalı Trifosfazen Türevlerinin Antimikrobiyal Aktivitelerinin Araştırılması

The Investigation of Antimicrobial Activities of Diamino- substituted Cyclotriphosphazene Derivatives

Gülçin Çetin Kılıçaslan^{1*}, Cihan Darcan², Necibe Kılıçer³, Sedat Türe⁴

Geliş / Received: 26/01/2022

Revize / Revised: 06/06/2022

Kabul / Accepted: 06/06/2022

ÖZ

Hekzaklorosiklotrifosfazen [halkalı trimer, (N=PCl₃)₃, N₃P₃Cl₆] (1)'in alifatik primer diaminler [NH₂-(CH₂)_n-NH₂; n=2, 3 ve 5] ile tepkimelerinden bir mono-spiro (5); bir mono-ansa (10); iki dispiro (6 ve 8); bir spiro-ansa (11); iki tri-spiro (7 ve 9); ve bir tri-bino (12) türevi sentezlendi. Elde edilen fosfazen türevleri (5-12)'nin yapısı uygulanabilir spektroskopik yöntemler (LC-MS, FT-IR, ¹H ve ³¹P NMR) ile aydınlatıldı.

Bileşikler (5-12)'in antimikrobiyal aktivitesi, üç farklı insan patojenine karşı (*Escherichia coli* W3110, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ve *Candida albicans* ATCC 10231) Minimum İnhibitör Konsantrasyon (MİK) ve Minimum Sidal Konsantrasyon (MSK) değerlerinin belirlenmesi için mikrodilüsyon tekniği kullanılarak incelendi. Elde edilen sonuçlar, fosfazen türevleri (5-12)'nin belirtilen mikroorganizmalara karşı önemli aktivitelere sahip olduğunu gösterdi.

Anahtar Kelimeler- Hekzaklorosiklotrifosfazen, Antimikrobiyal Aktivite, *Escherichia coli* W3110, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Candida albicans* ATCC 10231

ABSTRACT

From the reactions of hexachlorocyclotriphosphazene [cyclic trimer, (N=PCl₃)₃, N₃P₃Cl₆] (1) with aliphatic primary diamines, [NH₂-(CH₂)_n-NH₂; n=2, 3 and 5], one mono-spiro (5); a mono-ansa (10); two dispiro (6 and 8); a spiro-ansa (11); two tri-spiro (7 and 9); and a tri-bino (12) derivatives were synthesized.

The structure of the obtained phosphazene derivatives (5-12) was elucidated by applicable spectroscopic methods (LC-MS, FT-IR, ¹H and ³¹P NMR). The antimicrobial activities of the synthesized compounds were investigated using microdilution technique to determine Minimum Inhibitory Concentration (MIC) and Minimum Cidal Concentration (MCC) values against three different human pathogens (*Escherichia coli* W3110, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 and *Candida albicans* ATCC 10231). The obtained results showed that phosphazene derivatives (5-12) had significant activities against the mentioned microorganisms.

Keywords- Hexachlorocyclotriphosphazene, Antimicrobial Activity, *Escherichia coli* W3110, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Candida albicans* ATCC 10231

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: gulcin.cetin@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9625-224X>)

Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 11230 Bilecik, Türkiye

²İletişim: cihan.darcan@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-0205-3774>)

Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 11230 Bilecik, Türkiye

³İletişim: necibe.esen@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-4037-7729>)

Kimya Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 11230 Bilecik, Türkiye

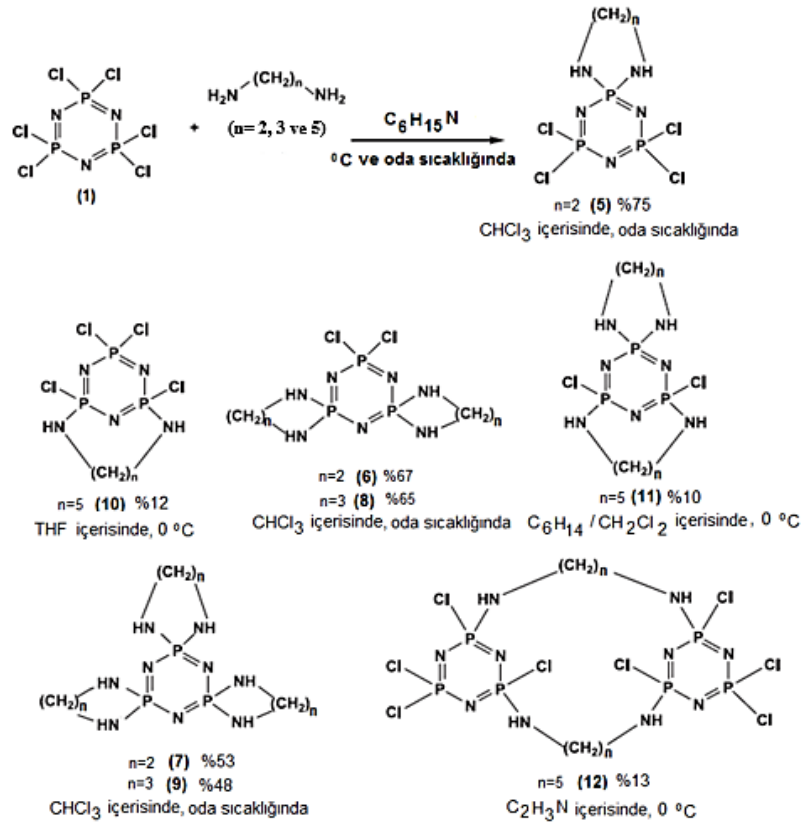
⁴İletişim: s.ture@yahoo.com (<https://orcid.org/0000-0001-8637-5580>)

Kimya Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 11230 Bilecik, Türkiye

I. GİRİŞ

Halkalı fosfazen türevleri, bilim ve teknolojiye sahip oldukları geniş uygulama alanları nedeniyle inorganik halkalı bileşikler sınıfının önemli bir ailesini oluşturmaktadır [1]. Fosfor-klor bağına sahip olan halkalı fosfazen bileşikleri $[(N=PCl_2)_n]$ ($n=3, 4, 5, \dots$) sentez kimyada oldukça önemlidir. Cl-atomlarının farklı gruplar (R) ile nükleofilik süstitüsyon tepkimelerinden yeni halkalı fosfazen türevleri $[(N=PCl_2)_n]$ hazırlanabilmekte ve fosfor atomu ve/veya atomlarına bağlanan inorganik, organik veya organometalik grubun tipine ve fosfazen halkasının boyutuna göre oluşan bileşikler farklı özelliklere sahip olabilmektedir [1-4]. $N_3P_3Cl_6$ bileşiğinin mono-, di-, tri- ve tetrafonksiyonel reaktifler ile nükleofilik süstitüsyon tepkimeleri, açık zincir, spiro-, ansa-, spiro-ansa- ve bino-tipi halkalı trimerik fosfazen türevlerini vermekte, stereo- ve regio-selektif ürünlerin oluşumuna neden olmaktadır. Farklı yan grupların varlığı ve siklofosfazen halkasının boyutu, bileşiklerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirler [2-37]. Biyoaktif halkalı trimerik fosfazen bileşiklerinin sentezlenmesi ve geliştirilmesi; kanser, mikrobiyal ve mantar gibi çeşitli hastalıkların tedavisi için yeni ve etkili ilaç adaylarının araştırılmasında umut verici bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir [5-10]. Son yıllarda halkalı trimer $N_3P_3Cl_6$ (1)'den elde edilen fosfazen türevlerinin, HT-29 (insan kolon adenokarsinomu), Hep2 (İnsan epidermoid larinks karsinomu), HeLa (insan servikal adenokarsinomu), LNCaP ve PC-3 (insan prostat karsinomu), MCF7 (insan meme kanseri), HL-60 (insan promiyelositik lösemi), A549 (insan akciğer adenokarsinomu) ve HCV29T (idrar kesesi kanseri) gibi yaygın kanser hastalıkları ile bağlantılı kanser hücrelerine karşı antikanser ve sitotoksik aktivite göstermesi dikkat çekmektedir [11-15]. Örneğin, bir çalışmada, aziridin-taç süstitüe halkalı fosfazenlerin DNA zincirinde kırıklar oluşturarak kanser hücrelerinin büyümesini inhibe ettiği görülmektedir [16]. Ayrıca diammin, pirolidin, aziridin, spermin ve spermidin süstitüe aminosiklofosfazen türevleri, anti-kanser özelliklerinden dolayı bilinmektedir [12,18]. Bu türevler, HT-29, Hep2 ve Vero hücrelerine karşı sitotoksikite göstermekte ve ayrıca apoptosis kaynaklı hücre ölümlerini azaltmaktadır [19,15]. Oktapirolidinosiklotetrafosfazen bileşiği ve tamamen fenoksi süstitüe yıldız dallı siklotetrafosfazen türevinin Cu (II) kompleksi, anti-kanser aktivite sergilemektedir [16,21,22].

Bu çalışmada, $N_3P_3Cl_6$ (1)'in primer diamminler $[NH_2-(CH_2)_n-NH_2]$; $n=2, 3$ ve 5 ile tepkimelerinden sentezlenen siklofosfazen türevleri (5-12) iki bakteri (*Escherichia coli* W3110 ve *Staphylococcus aureus* ATCC 25923) ve bir maya (*Candida albicans* (ATCC 1023) suşuna karşı antimikrobiyal aktivitesi incelendi ve çeşitli hastalıkların tedavisinde kemoterapötik ajan olarak kullanılabilme olasılıkları araştırıldı.



Şekil 1. $N_3P_3Cl_6$ (1)'in alifatik diaminler $[NH_2-(CH_2)_nNH_2; (n=2, 3$ ve $5)]$ ile tepkimelerinden sentezlenen siklofosfazen türevlerinin yapısı [23-27,34].

II. DENEYSEL

A. Kullanılan Malzemeler

Bakteri üremesi için kullanılan Nutrient Broth ve Nutrient Agar (Merck); Duyarlılık sonuçlarının etkisini belirlemek için standart antimikrobiyotik olarak Kanamisin (Sigma Ald.'den, Km) ve antifungal olarak sikloheksimid (Sigma Ald.'den, Cy) kullanıldı. Fosfazen türevlerinin minimuminhibitörkonsantrasyonu (MİK) ve minimum sidal konsantrasyonu (MSK), üç farklı insan patojenine (*Escherichia coli* W3110, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ve *Candida albicans* ATCC 10231) karşı belirlendi. *E. coli* (W3110), *S. aureus* (ATCC 25923) ve *C. albicans* (ATCC 10231), American Type Culture Collection'dan elde edildi.

B. Yöntem

Fosfazen türevlerinin minimum inhibitör konsantrasyon (MİK) ve minimum sidal konsantrasyon (MSK) değerleri, mikrodilüsyon tekniği kullanılarak belirlendi [9]. Verimlerinin çok düşük olması nedeni ile fosfazen türevleri (5- 12)'nin antimikrobiyal aktivitesi sadece *E. coli* W3110, *S. aureus* ATCC 25923 ve *C. albicans* ATCC 10231'e karşı test edilebildi. Antibakteriyel aktivite çalışmaları için *E. coli* W3110 ve *S. aureus* ATCC 25923 suşlarının seçilme sebebi, hem bakterilerde iki temel sınıf olan Gram negatif ve Gram pozitif bakterileri temsil etmeleri hem de hastalık etmeni olmalarından dolayı referans niteliği taşımalarıdır. Ökaryot bir mikroorganizma olan maya suşu (*C. albicans* ATCC 10231)'nin seçilme sebebi ise bileşiklerin ileride kemoterapötik ajan olarak kullanılabilme olasılığı olduğunda insanlardaki etkisini incelemek içindir.

Minimum inhibitör konsantrasyonu (MİK) ve minimum sidal konsantrasyonu (MSK), her maddenin iki farklı konsantrasyonu kullanılarak mikropalakalarda (Nest) $\frac{1}{2}$ seri seyreltme ile belirlendi [17]. Bileşikler (5-8 ve 12)'nin stok çözeltileri su ile hazırlandı. Sudaki çözünürlüklerinin çok düşük olması nedeni ile bileşikler (9, 10 ve 11)'in stok çözeltileri dimetil sülfoksit (DMSO)'da hazırlandı. Bileşikler, 20 mg/mL 'lik bir konsantrasyonda hazırlandı ve MİK testleri için kullanıldı.

Ön kültürleri hazırlamak için, her bir mikroorganizma, çalkalanarak 160 rpm'de 18 saat boyunca 37 °C'de 5 mL besin açısından zengin et suyu (LB, Luria Bertani) ortamında inkübe edildi. İnkübasyondan sonra bakteri yoğunluğu, bir spektrofotometre cihazı (Thermo Scientific GENESYS 150 Vis/UV-) kullanılarak OD600'de 0.1 absorbansa ayarlandı ve ardından gerekli kültür, 400 µL bakteri ile 60 mL steril LB brot içinde hazırlandı. Bu kültürden, 96 kuyulu plakanın ilk kuyucuğuna 180 µL veya 170 µL kültür ve diğer kuyucuklara 100 µL kültür ilave edildi. Toplam 200 µL hacmini tamamlamak için 180 µL ve 170 µL bakteri kültürü içeren ilk kuyucuklara 20 µL ve 30 µL fosfazen bileşiği ilave edildive 12 kuyucukta ½ seri seyreltme yapıldı. Mikroplaklar 37 °C'de 18 saat inkübe edildi ve ertesi gün MİK değerleri belirlendi [17]. Ayrıca bileşiklerin sidal etkilerini belirlemek için üremenin gözlenmediği kuyucuklardan 10 µL kültür alınarak LB agar içeren ortama damlatıldı. Daha sonra plaklar 37 °C 'de 18 saat inkübe edildi ve ertesi gün MSK değerleri belirlendi. Deneyler en az 3 kez tekrarlandı.

III. TARTIŞMA VE SONUÇ

A. Bileşiklerin Sentezi ve Yapısal Karakterizasyonu

THF, asetonitril, kloroform ve n-hekzan/diklorometan (5:2) çözelti karışımı içerisinde, 0 °C'de ve oda sıcaklığında, bir, iki ve üç eşmolar oranlarda alifatik diaminler $[\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_n-\text{NH}_2; n=2, 3 \text{ ve } 5]$ ile $\text{N}_3\text{P}_3\text{Cl}_6$ (1)'in tepkimeleri sonucunda amino-süstitüe siklofosfazen bileşikleri (5-12) sentezlenmiştir (Şekil 1): Mono-spiro, $\text{N}_3\text{P}_3[\text{NH}(\text{CH}_2)_2\text{NH}_2]\text{Cl}_4$ (5, %75); bis-spiro, $\text{N}_3\text{P}_3[\text{NH}(\text{CH}_2)_2\text{NH}_2]_2\text{Cl}_2$ (6, %67); tri-spiro, $\text{N}_3\text{P}_3[\text{NH}(\text{CH}_2)_2\text{NH}_2]_3$ (7, %53); bis-spiro, $\text{N}_3\text{P}_3[\text{NH}(\text{CH}_2)_3\text{NH}_2]_2\text{Cl}_2$ (8, %60); tris-spiro, $\text{N}_3\text{P}_3[\text{NH}(\text{CH}_2)_3\text{NH}_2]_3$ (9, %48); Mono-ansa, $\text{N}_3\text{P}_3\text{Cl}_4[\text{NH}(\text{CH}_2)_5\text{NH}]$ (10, %12); spiro-ansa, $\text{N}_3\text{P}_3[\text{NH}(\text{CH}_2)_5\text{NH}]_2\text{Cl}_2$ (11, %9); ve bis-bino, $\text{N}_3\text{P}_3\text{Cl}_4[\text{NH}(\text{CH}_2)_5\text{NH}]_2\text{N}_3\text{P}_3\text{Cl}_4$ (12, %12) türevi. Sentezlenen fosfazen türevlerinden 10, 11 ve 12 numaralı bileşiklerin sentezi araştırma grubumuz tarafından ilk defa gerçekleştirilmiş ve yapıları yine grubumuz tarafından aydınlatılmıştır [20,27]. Diğer fosfazen türevleri (5-9), farklı araştırma grupları tarafından rapor edilmiştir [22-26, 32]. Sentezlenen tüm fosfazen türevleri (5-12), diklorometan, kloroform, dimetilformamid ve DMSO gibi yaygın olarak kullanılan organik polar çözücülerde çözünmektedir. Ayrıca, bu türevler su içerisinde de önemli ölçüde çözünebilmektedir. Sentezlenen bileşiklerin yapısı; literatürde element analizi ve spektroskopik yöntemler (LC-MS, FT-IR, ^1H ve ^{31}P NMR) ile aydınlatılmıştır [20, 22-26].

B. Sentezlenen Bileşiklerin (5-12) Antimikrobiyal Aktivitesinin Belirlenmesi

Son yıllarda yapılan çalışmalardan halkalı trimerik fosfazen türevlerinin çeşitli kanser hücrelerine karşı önemli sitotoksik ve anti-kanser aktivite gösterdiği [11-15] ve çeşitli bakteri ve mantarlara karşı antimikrobiyal etkiye sahip olduğu [33] görülmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, yeni biyoaktif halkalı trimerik fosfazen türevlerinin sentezlenmesine ve geliştirilmesine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır [5-10]. Fosfazen türevleri (5-12)'nin minimum inhibitör konsantrasyonu (MİK) ve minimum sidal konsantrasyonu (MSK), *Escherichia coli* W3110, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ve *Candida albicans* ATCC 10231 olmak üzere üç farklı insan patojenine karşı broth mikrodilüsyon tekniği [9] kullanılarak belirlendi; Diamino ikameli siklotrifosfazen türevlerinin antimikrobiyal ve antifungal aktiviteleri için belirlenen minimum inhibitör konsantrasyon (MİK) ve minimum sidal konsantrasyon (MSK) değerleri Tablo 1'de görülmektedir.

Buna göre, 1,3-propan-diamin'den elde edilen bis-spiro siklo-fosfazen türevi (8), çalışılan mikroorganizmalar üzerinde en düşük MİK (0.39-0.47 mg/mL) ve MSK değerlerine (0.39-0.47 mg/mL) sahiptir. 1,5-pentan-diaminden sentezlenen çift köprülü bino-fosfazen türevi (12) ise en yüksek MİK (31.25 – 37.5 mg/mL) ve MSK (37 – 70 mg/mL) değerlerine sahiptir.

Tablo 1. Diamino ikameli halkalı trifosfazen türevlerinin MİK ve MSK değerleri (mg/mL)

Bileşikler	Gram negatif		Gram pozitif		Ökaryot	
	<i>E. coli</i>		<i>S. aureus</i>		<i>C. albicans</i>	
	MİK	MSK	MİK	MSK	MİK	MSK
5	2.33	2.33	0.58	0.58	1.16	1.16
6	6.13	6.13	9.19	9.19	4.59	6.13
7	2.05	2.05	2.74	4.10	2.05	2.05
8	0.47	0.47	0.39	0.47	0.39	0.47
9	1.2	>1.5	1.5	>1.5	0.75	>1.2
10	1	>2	1	2	0.5	>2
11	0.88	>1.09	0.88	>1.09	0.44	1.09
12	31.25	37.50	25	50	37.5	>75
Km	0.002	0.002	0.001	0.001	NT	NT
Cy	NT	NT	NT	NT	> 0.1	> 0.1
DMSO	125	500	250	500	75	125

Dipnot: NT: Test Edilmedi; Km: Kanamisin; Cy: Sikloheksimid

Buna karşılık 1,2-etan-diamin'den türetilen dispiro- (6 ve 8) fosfazen türevleri karşılaştırıldığında bileşik (6)'nın şaşırtıcı derecede yüksek MİK değerlerine (4.9-9.19 mg/mL) sahip olduğu görülmektedir. Sübstitüe-1,2-etan diamin dispiro-fosfazen bileşiği (6)'nın MİK değerlerinin, diğer homolog seri 1,2- mono-spiro- (5) ve 1,2-tris-spiro- (7) fosfazen türevlerinden daha yüksek olması da düşündürücüdür. Öte yandan, Gram pozitif bir bakteri olan *S. aureus*'un bileşik (5)'e duyarlı (MİK değeri, 0.58 mg/mL) ve bileşik (6)'ya oldukça dirençli (MİK değeri, 9.19 mg/mL) olması da dikkat çekmektedir. Ayrıca, bileşik (7), diğer mikroorganizmalar üzerinde çok farklı bir etkiye sahip değilken bileşik (5 ve 6)'nın üç mikroorganizma üzerinde oldukça farklı bir etki gösterdiği görülmektedir. Özellikle, Gram-pozitif bir bakteri olan *S. aureus*, 0.58 mg/mL MİK değeri ile bileşik (5)'e karşı oldukça duyarlıdır. Ancak, bileşik (6), 9.19 mg/mL MİK değeri ile oldukça dirençlilik sergilemektedir.

Halkalı trimerik fosfazen türevleri ile yapılan bir çalışmada başlangıç bileşiği olan $N_3P_3Cl_6$ (1)'in farklı organizmalara karşı MİK değeri 0.013-0.054 mg/mL olarak belirlenmiştir [9]. Bu MİK değerleri, fosfazen türevleri (5-12)'nin MİK değerleri ile karşılaştırıldığında, $N_3P_3Cl_6$ (1)'in daha etkili olduğunu göstermektedir. Çizelgeden de görüleceği üzere, sentezlenen halkalı trimerik fosfazen türevleri (5-12) arasında en düşük MİK değerlerine sahip olan türevler bileşik (9 ve 12)'dir. Standart antibiyotiklerle karşılaştırıldığında bileşik (4) tüm mikroorganizmalar üzerinde antibiyotikler kadar etkili olduğu görülmektedir. Bileşikler 3 (0.5-1.31 mg/mL), 5 (0.47-0.78 mg/mL), 7 (1.87-5 mg/mL), 8 (2.06-3.3 mg/mL) ve 10 (1.52-4.06 mg/mL)'un antimikrobiyal etkisi başlangıç bileşiği $N_3P_3Cl_6$ (1)'e göre daha düşüktür. Bileşik (7 ve 8), sentezlenen diğer bileşiklerden farklı olarak Gram-negatif bakteri olan *E. coli* ve ökaryot *C. albicans* üzerinde sidal etki gösterirken, Gram-pozitif bakteri olan *S. aureus* üzerinde statik etki göstermektedir.

Fosfazenler üzerinde yapılan bazı çalışmalarda N/O [4], 4-floro-benzil [5] ve ferrosenil [6] grupları taşıyan fosfazen türevlerinin Gram-pozitif, Gram-negatif ve ökaryotlar üzerinde etkili olduğu kanıtlanmıştır. Toplam 8 mikroorganizma ile yapılan bir başka çalışmada N/O sübstitüe spiro-siklotrifosfazen türevlerinin mikroorganizmalar üzerinde etkili olmadığı görülmektedir [7]. Mono-ferrosenilspirosiklotetrafosfazen türevleri ile yapılan bir çalışmada ise bileşiklerin oldukça yüksek antikandidal etkiye sahip olduğu görülmektedir [8].

Çizelge incelendiğinde, bu çalışmada yer alan fosfazen türevleri (5-12)'nin, tüm mikroorganizmalar üzerinde etkili olduğu belirlendi. Bileşik 12 ve 5 hariç diğer bileşiklerin ökaryotik mikroorganizma (*C. albicans*) üzerinde prokaryotik mikroorganizmalara (*E. coli* ve *S. aureus*) göre daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bileşik 12'nin standart organizmalara karşı belirlenen yüksek MİK ve MSK değerleri, önemli bir antimikrobiyal aktiviteye sahip olmadığını gösterdi. Bileşik 5'inise MİK ve MSK değerleri, özellikle Gram pozitif bakterilere antibiyotikler kadar etkili olduğunu gösterdi. Değerlendirilen bileşikler arasında; antimikrobiyal ajan olmak için, bileşik 5 iyi bir aday olarak görünmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Gleria, M. & Jaeger, R. D. (2004). Applicative Aspects of Cyclophosphazenes, *Nova Science*, New York, 371.
- [2] Allcock, H. R. (1972). Phosphorus-Nitrogen Compounds. *Academic Press*, New York and London, 512.
- [3] Moriya, K. Masuda T. Yano, S. Suzuki T. Kajiwara M. (1998).³¹P and ¹³C NMR Studies of a Liquid-Crystalline Cyclotriphosphazene Derivative: Orientational Characteristics and Contrasting Shielding Anisotropies for Inorganic and Organic Moieties. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 318, 267-278.
- [4] Işıklan, M. Asmafiliz, N. Özalp, E.E. İltter, E. Kılıç, Z. Çoşut, B. Yeşilot, S. Kılıç, A. & Öztürk, A. Hökelek, T. Koç Bilir, L. Y. Açık, L. & Akyüz, E. (2010). Phosphorus–Nitrogen Compounds. 21. Syntheses, Structural Investigations, Biological Activities, and DNA Interactions of New N/O Spirocyclic Phosphazene Derivatives. The NMR Behaviors of Chiral Phosphazenes with Stereogenic Centers upon the Addition of Chiral Solvating Agents. *Inorg. Chem.*, 49, 7057–7071.
- [5] Erdener Çıralı, D. Uyar, Z. Koyuncu, İ. & Hacıoğlu, N. (2015). Synthesis, characterization and catalytic, cytotoxic and antimicrobial activities of two novel cyclotriphosphazene-based multisite ligands and their Ru(II) complexes. *Appl. Organomet. Chem.*, 29, 536–542.
- [6] Tümer, Y. Asmafiliz, N. Kılıç, Z. Hökelek, T. Soltanzade, H. Açık, L. Yola, M.L. & Solak, A.O. (2015). Phosphorus–nitrogen compounds: part 30. Syntheses and structural investigations, antimicrobial and cytotoxic activities and DNA interactions of vanillinato-substituted NN or NO spirocyclic monoferrocenyl cyclotriphosphazenes. *J. Biol. Inorg. Chem.* 20,165–178.
- [7] Başterzi N.S. Bilge Koçak, S. Okumuş, A. Kılıç, Z. Hökelek, T. Çelik, Ö. Türk, M. Koç, L.Y. Açık, L. Aydın, B. & Dal, H. (2015). Syntheses, structural characterization and biological activities of spiro-ansa-spiro-cyclotriphosphazenes. *New J. Chem.* 39, 8825–8839.
- [8] Çil, E. Tanyıldızı, M.A. Özen, F. Boybay, M. Arslan, M. & Görgülü, A.O. (2012). Synthesis, Characterization, and Biological–Pharmacological Evaluation of New Phosphazenes Bearing Dioxybiphenyl and Schiff Base Groups. *Arch. Pharm. Chem. Life Sci.* 345476–485.
- [9] Zgoda, J.R. & Porter, J.R. (2001). A Convenient Microdilution Method for Screening Natural Products Against Bacteria and Fungi. *Pharm. Biol.* 39, 221-225.
- [10] Asmafiliz, N. Kılıç, Z. Hayvalı, Z. Açık, L. Hökelek, T. Dal, H. & Öner, Y. (2012). Phosphorus–nitrogen compounds. Part 23: Syntheses, structural investigations, biological activities, and DNA interactions of new N/O spirocyclic phosphazenes. *Spectrochim. Acta A Molecular and Biomolecular Spectroscopy.* 86 214–223.
- [11] Akbaş, H. Okumuş, A. Kılıç, Z. Hökelek, T. Süzen, Y. Koç, L.Y. Açık, L. & Çelik, Z.B. (2013). Phosphorus-nitrogen compounds: part 27. Syntheses, structural characterizations, antimicrobial and cytotoxic activities, and DNA interactions of new phosphazenes bearing secondary amino and pendant (4-fluorobenzyl)spiro groups. *Eur J Med Chem.* 70, 294-307.
- [12] Yıldırım, T. Bilgin, K. Çiftçi, G.Y. Eçik, E.T. Şenkuytu, E. Uludağ, Y. Tomak, L. Kılıç, A. (2012). Synthesis, cytotoxicity and apoptosis of cyclotriphosphazene compounds as anti-cancer agents. *Eur. J. Med. Chem.* 52, 213-220.
- [13] Görgülü, A.O. Koran, K. Özen, F. Tekin, S. & Sandal, S. (2015). Synthesis, structural characterization and anti-carcinogenic activity of new cyclotriphosphazenes containing dioxybiphenyl and chalcone groups. *J. Mol. Struct.* 1087, 1–10.
- [14] Machakanur, S.S. Patil, B.R. Naik, G.N. Bakale, R.P. Bligh, S.W.A. & Gudasi, K.B. (2014). Synthesis, characterization and antiproliferative activity of hexa arm star shaped thiosemicarbazones derived from cyclotriphosphazene core. *Inorg. Chim. Acta* 421, 459-464.
- [15] Siwy, M. Sęk, D. Kaczmarczyk, B. Wietrzyk, J. Nasulewicz, A. & Opolski, A. (2007). Synthesis and In Vitro Antiproliferative Activity of New 1,3-(Oxytetraethylenoxy)-cyclotriphosphazene Derivatives. *Anticancer Res.* 27(3B), 1553-1558.
- [16] Brandt, K. Bartczak, T.J. Kruszynski, R. & Porwolik-Czomperlik, I. (2001). AIDS-related lymphoma screen results and molecular structure determination of a new crown ether bearing aziridinylcyclophosphazene, potentially capable of ion-regulated DNA cleavage action. *Inorganica Chimica Acta* 322, 138-144.
- [17] NCCLS. (2003). Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically. Approved standard, 6th ed. NCCLS document M07-A10. NCCLS, Wayne, Pa. 15.
- [18] Labarre, J.F. Guerch, G. 6 Sourmies, F. (1984). Attempts at the prdduition of more selective antitumorals. I. The antineoplastic activity of cyclophosphazenes linked to polyamines 1,3-diaminopropane and 1,4-diaminobutane. *J. J. Mol. Struct.* 117, 59-72.

- [19] Sassus, J.L. Graffeuil, M. Castera, P. & Labarre, J.F. (1985). Covalent binding of non-effective diaziridinocyclotriphosphazenes to natural polyamines as tumor finders makes potential anticancer agents. *Inorg. Chim. Acta.* 108, 23-27.
- [20] Ture, S. Silah, H. & Tuna, M. (2020). Reinvestigations of the reactions of hexachlorocyclotriphosphazene with difunctional primary amines leading to novel dangler, ansa and bridged derivatives. Spectroscopic studies of the derived products. *J. Mol. Struct.* 1202, 127232.
- [21] Siwy, M. Sęk, D. Kaczmarczyk, B. Jaroszewicz, I. Nasulewicz, A. Pelczyńska, M. Nevozhay, D. & Opolski, A. (2006). Synthesis and in Vitro Antileukemic Activity of Some New 1, 3-(Oxytetraethylenoxy) cyclotriphosphazene Derivatives. *Journal of Medicinal Chemistry.* 49 (2), 806-810.
- [22] Huizen, A.A. Wiltig, T. van de Grampel, J.C. Lelieveld, P. van der Meer-Kalverkamp, A. Lamberts, H.B. & Mulder, N.H. (1986). Isomer-dependent cytostatic activity of bis(1-aziridinyl)cyclo-phosphazenes. *Med Chem.* 29: 1341-1345,
- [23] Castera, P. Faucher, J.P. Grainer, M. & Labarre, J. F. (1987). Singly, doubly and triply bridged polyazaheterophanes derived from hexachlorocyclotriphosphazene, N3P3Cl6. *Phosphorus Sulfur Silicon Relat. Elem.* 32, 37-50.
- [24] Guerch, G. Labarre, J. F. Roques, R. & Sournies, F. (1983). An answer to the spiro versus ansa dilemma in cyclophosphazenes: Part II. N3P3Cl4[HN · (CH2)4 · NH]. *J. Mol. Struct.* 96: 113-120.
- [25] Guerch, G. Labarre, J.F. Lahana, R. Roques, R. & Sournies, F. (1983). An answer to the spiro versus ansa dilemma in cyclophosphazenes: Part III. N3P3Cl5[HN · (CH2)4 · NH]Cl5P3N3. A serendipitous two-ring bridged-assembly phosphazene. *J. Mol. Struct.* 99: 275-282.
- [26] Castera, P. Faucher, J.P. Guerch, G. Lahana, R. Mahmoun, A. Sournies, F. & Labarre, J.F. (1985). An answer to the SPIRO versus ANSA dilemma in cyclophosphazenes. Part VII. Neither SPIRO nor ANSA: the BINOdicyclopentaphosphazenes, N3P3Cl5 [HN · (CH2)n · NH] Cl5P3N3. *Inorg. Chim. Acta.* 108, 29-33.
- [27] Rajeswara Rao, R. Gayatri, G.; Kumar, A. Narahari Sastry, G. & Ravikanth, M. (2009). Cyclotriphosphazene Ring as a Platform for Multiporphyrin Assemblies. *Chem. Eur. J.* 15, 3488-3496.
- [28] Davarcı, D. Beşli, S. & Yuksel, F. (2014). Reactions of cyclotriphosphazene with 1,6-diaminohexane and 1,8-diaminooctane: Mono-ansa, double- and triple-bridged derivatives. *Polyhedron.* 68, 10–16.
- [29] Ture, S. (2016). Phosphorus-nitrogen compounds: Reinvestigation of the reactions of hexachlorocyclotriphosphazene with 1,4-butane- and 1,6-hexane-diols—NMR studies of the products. *Phosphorus Sulfur Silicon Relat. Elem.* 191, 1174-1182.
- [30] Chang F, Huang X, Wei H, Chen K, Shan C, & Tang X. (2014). Intrinsically fluorescent hollow spheres based on organic–inorganic hybrid polyphosphazene material: Synthesis and application in drug release. *Mater. Lett.* 125, 128–131.
- [31] Beşli, S. Coles, S.J. Davarcı, D. Davies, D.B. & Yuksel, F. (2011). Effect of chain length on the formation of intramolecular and intermolecular products: Reaction of diols with cyclotriphosphazene. *Polyhedron.* 30, 329-339.
- [32] Chandrasekhar, V. Krishnamurthy, S.S. Vasudeva Murthy, A.R. Shaw, R.A.& Woods, M. (1981). Spirocyclic phosphazenes derived from the reaction of N3P3Cl6 and N4P4Cl8 with bifunctional reagents. *Inorg. and Nucl. Chem. Letters*, 17 (5-6), 181-185.
- [33] Shaw, R.A. (1989). The reactions of phosphazenes with difunctional and polyfunctional nucleophilic reagents. *Phosphorus Sulfur Silicon Rel. Elem.* 45, 103-136.
- [34] Murr El, N. Lahana, R. & Labarre, J.F. (1984). El Murr N, Lahana R, Labarre JF, Declercq JP. (). An answer to the spiro versus ansa dilemma in cyclophosphazenes Part V*. The DISPIRO N3P&12 [HN-(CH2)3,4-NH] 2 and TRISPIRO N3P3 [HN-(CH,-NH) 3 derivatives . *J Mol Struct.* 117, 73-85.
- [35] İter, E. Asmafiliz, N. Kılıç, Z. Açık, L. Yavuz, M. Bali, E.B. Solak, A.O. Buyükkaya, F. Dal, H. Hökelek, T. (2010). Phosphorus–nitrogen compounds: Part 19. Syntheses, structural and electrochemical investigations, biological activities, and DNA interactions of new spirocyclic monoferrocenylcyclotriphosphazenes. *Polyhedron*, 29, 2933–2944.
- [36] Ozay, H. & Ozay, O. (2014). Synthesis and characterization of drug microspheres containing phosphazene for biomedical applications. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* 450, 99–105.
- [37] Greish, Y.E. Benderb, J.D. Lakshmic, S. Browna, P.W. Allcock, H.R. & Laurencinc, C. T. (2005). Low temperature formation of hydroxyapatite-poly(alkyl oxybenzoate)phosphazene composites for biomedical applications. *Biomaterials.* 26, 1-9.

Araştırma Makalesi -Research Article

Çanakkale Yenice Çinko Konsantrelerinden Çinko Ekstraksiyonuna Mekanik Aktivasyon ve Elektro-Oksidasyonun Etkisi

The Effect of Mechanical Activation and Electro-Oxidation on Zinc Extraction from Çanakkale Yenice Zinc Concentrated

Doğan Çemrek¹, Figen Algül^{2*}, Hasan Algül³, Ahmet Alp⁴

Geliş / Received: 03/02/2022

Revize / Revised: 13/04/2022

Kabul / Accepted: 20/04/2022

ÖZ

Çinko üretimi için dünyada en çok kullanılan cevherler sfaleritlerdir. Halen konsantre halde yurt dışına satılan bu bölge konsantrelerinden alternatif bir proses ile çinko ekstraksiyon koşulları araştırılmıştır. Çanakkale-Yenice bölgesi çinko cevherleri önce kırılıp öğütülmüş ve sonrasında gezegensel değirmende mekanik olarak aktive edilmiştir. Mekanik aktivasyon işlemi için 1/30 katı/bilya oranı, 2 saat işlem süresi ve 600 devir/dk işlem parametreleri optimize edilmiştir. Ardından liç çalışmaları elektrooksidasyon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Liç çalışmaları ile en yüksek çinko ekstraksiyon verimi %90,78 olarak elde edilmiştir. Çalışmalarda analiz ve karakterizasyon için XRF, X-ray, AAS, SEM-EDS-Mapping çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Çinko konsantresi, Mekanik Aktivasyon, Elektro-Oksidasyon Liçi

ABSTRACT

The most commonly used ores in the world for zinc production are sphalerites. Zinc extraction conditions were investigated with an alternative process from the concentrates of this region, which are still sold abroad in concentrated form. Çanakkale-Yenice region zinc ores were first crushed and ground and mechanically activated in the planetary mill. For the mechanical activation process, 1/30 solid/ball ratio, 2 hours processing time, and 600 cycle/min process parameters was optimized. Then, leaching studies were carried out by electrooxidation method. The highest zinc extraction efficiency was obtained as 90.78% by leaching studies. In our study, XRF, X-ray, AAS, SEM-EDS-Mapping studies were carried out for analysis and characterization.

Keywords- Concentrated Zinc Ore, Mechanically Activation, Electro-Oxidation, Leaching

¹İletişim: tercelkermec@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-8881-5604>)

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

^{2*} Sorumlu yazar iletişim: figenozboz@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-0314-1613>)

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Doğal Kaynak ve Atık Değerlendirme Laboratuvarı, Sakarya, Türkiye

³İletişim: halgul@sakarya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4348-8865>)

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

⁴İletişim: alp@sakarya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-6164-4729>)

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Doğal Kaynak ve Atık Değerlendirme Laboratuvarı, Sakarya, Türkiye

I. GİRİŞ

Dünyada çinko üretimi cevherlerden ve hurda malzemelerden olmak üzere iki türdür [1]. Çinko cevherleri çoğunlukla kurşunlu mineralleri ihtiva ederken, gümüş ve bakır bileşikleri bulunan cevherlere de sahip olabilmektedir [2]. Dünyada pirometalürjik ve hidrometalürjik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen çinko üretimi, hurda malzemelerin yanında ençok sfalerit (ZnS) mineralinden üretilmektedir. Sülfürlü çinko konsantreleri öncelikle yüksek sıcaklıkta hava atmosferinde kavrulurken çinkonun yaklaşık %90'ı çinko okside dönüşürken, %10'luk kısmı ise çinko ferriti ($ZnFe_2O_4$) oluşturmaktadır. Üretilen çinko oksit esaslı ürün (kalsine), daha sonra ya karbon/CO ile redüklenecek (pirometalürjik proses) ya da liç edildikten (hidrometalürjik proses) sonra elektroliz ile metalik çinko üretilmektedir [1].

Cevherden çinko üretiminde şimdiye kadar kullanılan pirometalürjik yöntemler çevreye zarar vermektedir. Prosesler verim açısından düşük kaldığı için hem temiz hem de daha uygulanabilir bir yöntem olması sebebiyle hidrometalürjik–elektrometalürjik işlemler daha fazla tercih edilmektedir. Dünyadaki çinko üretiminin %90 dan fazlası bu yöntemle üretilmektedir [3].

Cevher hazırlama proseslerinde uygulanabilen mekanik aktivasyon işlemi, ekstraktif metalürjide özel bir öneme sahiptir. Katı maddelerin mekanik aktivasyonu için Thiessen, Magma-Plazma Modeli'ni ortaya koymuş olup, buna göre birbirine çarpışan iki partikülün temas ettiği noktalarda büyük bir enerji oluşmaktadır. Bu enerji katı maddeyi bir üst enerji seviyesine çıkararak meydana gelen elektron ve foton yayını, plazmatik bir hal oluşturmaktadır. Mekanik aktivasyonla çözünme veriminin yükselmesi, artan spesifik yüzey alana (alan/kütle oranı) ilave olarak yapıda meydana gelen düzensizlikler, minerallerin amorf bir karaktere bürünmesi, tercihli çözümler için gerekli olan uygun kristal alanlarının ortaya çıkması ve aktivasyon işlemi sırasında mineral partiküllerinin yüzeyinde meydana gelen oksidasyonlar sayesinde olmaktadır [4].

Elektrooksidasyon yöntemine anodikoksidasyon da denilmekte olup, Ti, Ru, Pt, ve paslanmaz çelik gibi elektrotlar kullanılarak anot yüzeyinde çıkan O_2 yardımıyla sülfürlü cevherlerin oksidasyonun elektrolit içinde yapılmasıdır. Elektrooksidasyonla birçok madde oksidasyona uğratılabilir. Anot, elektrooksidasyon işleminden maddenin oksidasyona uğramasında ana rol oynamaktadır. Anot malzemesinin yanı sıra elektroliz işleminin gerçekleştirildiği çözeltinin sıcaklığı, akım miktarı (voltaj) da oksidasyon işlemi için önemli parametrelerdir [5].

Literatürde atıklardan çinko üretimi hususunda birçok çalışma vardır. Bunlardan birinde elektrik ark fırın tozları için çalışılmıştır. Tozlar NaOH çözeltisinde liç edilmiştir. NaOH çözeltisinde en yüksek liç verimi 10 M çözeltide, 130 dakika sürede çinko için %35, kurşun için ise %65 olarak elde edilmiştir. Liç sonrası çözeltiden çinko ve kurşun, sodyum sülfür ilavesi ile çöktürülmüştür [6]. Bir başka çalışmada, kurşun-çinko flotasyon tesisinden düşük konsantrasyonlu sülfürlü konsantresi homojenize edilmiştir. Akabinde bakteriyel liç işlemi $45^\circ C$ 'de, 150 devir/dk karıştırma hızında, %15 katı içeren 0,4 g/L $(NH_4)_2SO_4$, 0,5 g/L $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,4 g/L K_2HPO_4 , 45 g/L $FeSO_4$, 10 g/L kükürt ilavesiyle oluşturulmuş pH' ın 1,8 olduğu çözeltide 15 gün süresince uygulanmıştır. Demirin çözeltiden uzaklaştırılması sonrası %99,9 'luk verimle solventekstraksiyon uygulanmıştır [7]. Çin'in oksitli-sülfürlü çinko cevheri üzerine %0 ile %25 aralığında Na_2O_2 içeren çözümlerde 10-70 dakika sürelerde, $200-700^\circ C$ 'lere $10^\circ C/dk$ ısıtma rejimi uygulanarak ve mevcut sıcaklıkta 5 dakika bekletme koşullarında mikrodalga liçi uygulanmıştır. Çalışmada $200^\circ C$ 'den düşük ve yüksek sıcaklıklarda meydana gelen reaksiyonlar etraflıca irdelenmiştir. Mikrodalgasız liç verimi yaklaşık %30 düzeyinde iken, mikrodalga ile çinko liç verimi 0,75 dakikada %80 civarına ulaşmıştır [8].

Bu çalışmada, yurt dışına satılan Çanakkale bölgesi sülfürlü çinko konsantresinden çinkonun kazanımı için pirometalürji ya da hidrometalürji proseslerin kullanımı yerine alternatif bir yöntem olan elektrooksidasyon yöntemiyle liç işlemi araştırılmıştır. Elektrometalürjik bir uygulama olan ve halihazırda endüstriyel olarak çinko üretimi açısından kullanılmayan elektrooksidasyon yöntemi kullanılarak sülfürlü çinko cevherlerinin liç verimine etki eden parametreler incelenerek literatüre de önemli özgün bilgiler sunulmaktadır.

II. MALZEME VE YÖNTEM

A. Malzeme

Bu çalışmada kullanılan çinko sülfür konsantresi, Çanakkale-Yenice yöresinden OREKS MADENCİLİK LTD.ŞTİ 'den temin edilmiştir. Konsantre kırıldıktan sonra 24 saat Fritch marka bilyalı değirmende 200 devir/dk. da öğütülmüş ve numune homojen hale getirilmiştir. Neminden arındırılmak üzere 24 saat etüvde bekletilmiş ve akabinde 74 mesh elek altına elenmiştir. Sonraki çalışmalar bu numune kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

B. Yöntem

1) *Kimyasal Analiz:* Konsantrenin analizi XRF analizi BRUKER AXS 'in S8 Tiger Dalga boyu Dağılımlı XRF analiz cihazı ile yapılmış olup, analiz sonucu aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Numunenin kimyasal bileşimi.

Bileşenler	ZnO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	SiO ₂	PbO	Diğer	K.K	Nem
%	41,75	30,48	3,50	1,59	1,56	1,27	0,66	18,03	1,16
Element	Zn	S	Fe	Na	Si	Pb	-	-	-
%	33,5	12,19	2,45	1,18	0,73	1,18	-	-	-

Tablo 1 'de cevherin elementel oranda ağırlıkça çinko içeriği %33,5 olduğu görülmektedir.

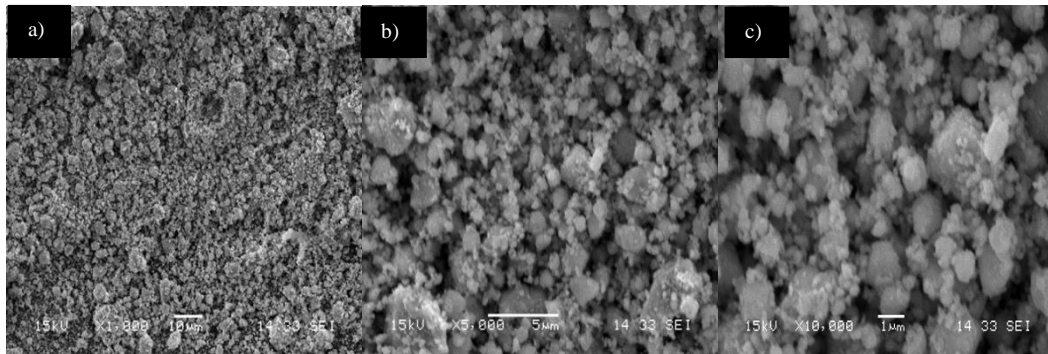
2) *Mekanik Aktivasyon Çalışmaları:* Numunelerin aktivasyon işlemi için Fritch marka gezegensel bilyalı değirmen kullanılmıştır. Aktivasyon için WC hazne kullanılmış olup, aktivasyonda 10 mm çaplı 45 adet WC bilyalar kullanılmıştır. Bilya/numune ağırlık oranı 30 olarak seçilmiştir. Aktivasyon işlemleri kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Mekanik aktivasyon için ilk önce devir çalışmaları yapılmış olup, 1 saat süre ile katı/bilye oranı 1/30 sabit parametrelerde en uygun devir tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışılan devirler 400, 500 ve 600 olup, en uygun verilerin 600 devirde elde edilmesi nedeniyle bu devir sabit alınarak süre çalışmaları için 2 ve 3 saatlik sürelerde çalışılmıştır. Süre için ise en optimum nokta 2 saat olarak bulunmuştur.

3) *Liç Çalışmaları:* İlk liç deneylerinde kullanılacak 3 M'lık sülfat asidi çözeltilerini hazırlamak için 1,84 g/cm³yoğunluğunda %98'lik sülfürik asit kullanılmıştır. Her bir deneyde 5 gram sfalerit cevher numunesi kullanılmıştır. Bu numunelerdeki çinko miktarı böylece 1,675 gram olmaktadır. Daha önceki literatür çalışmalarından elde edilen verilere bağlı olarak ilk çalışmalarda oda sıcaklığında 3 M 'lık sülfürik asit çözeltilisinde, 300 rpm karıştırma hızı, 1 saat süre ve 1/30 katı/sıvı oranı seçilerek voltaj çalışmaları yapılmıştır. Daha sonra liç sıcaklığı, süre, derişim ve katı/sıvı oranı çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

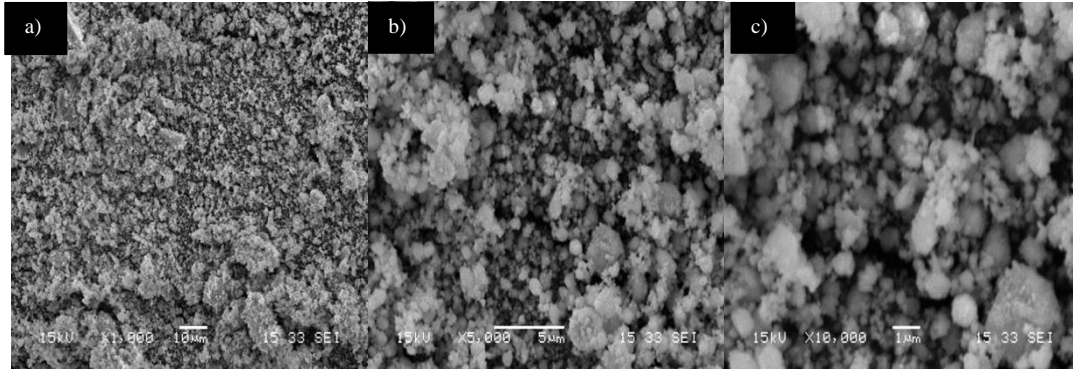
III. DENEYSEL BULGULAR

A. Mekanik Aktivasyon Çalışmaları

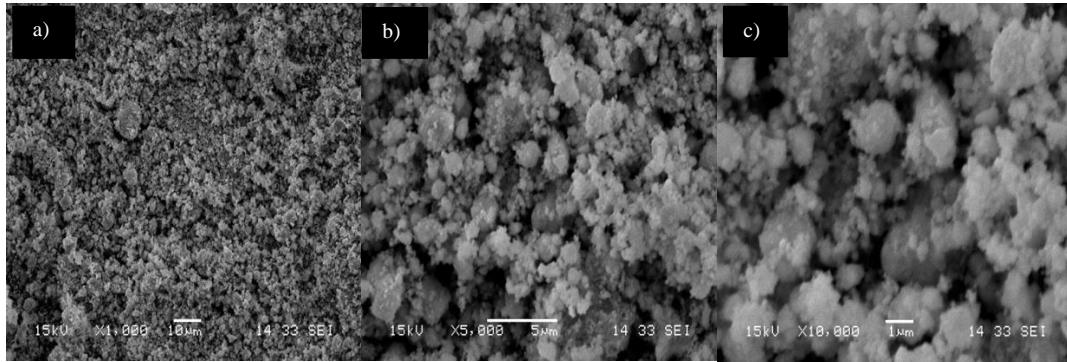
1) *Değirmen Devir Sayısı Çalışmaları:* Gezegensel bilyalı değirmende 400, 500 ve 600 devirde 1 saat süreyle çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen numunelerin SEM görüntüleri aşağıda Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 1. 400 devirde 1 saat mekanik aktive edilmiş numunelerin SEM görüntüleri; a) x1000, b) x5000, c) x10000



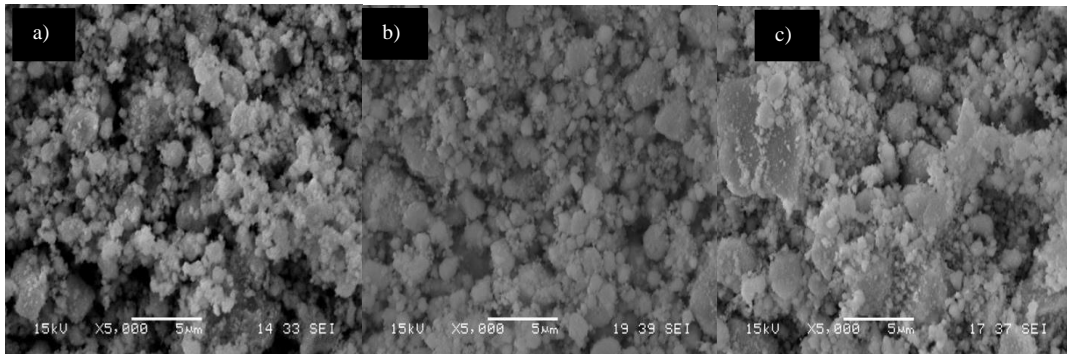
Şekil 2. 500 devirde 1 saat mekanik aktive edilmiş numunelerin SEM görüntüleri; a) x1000, b) x5000, c) x10000



Şekil 3. 600 devirde 1 saat mekanik aktive edilmiş numunelerin SEM görüntüleri; a) x1000, b) x5000, c) x10000

Devir çalışmalarında en iyi verimin 600 devirde elde edildiği SEM görüntülerinden görülmektedir. 400 devir/dk. ve 500 devir/dk. parametreleri ile aktivasyon sonrası elde edilen taneciklerin nispeten daha iri taneli olduğu, serbestleşmenin yeterince olamadığı görülmüştür. Zira çinkonun çözünmesi için serbestleşmesi gerektiği de açıktır. Serbestleşme için en küçük ve küresel taneciklerin açığa çıkması 600 devir/dk. olan en yüksek devirde yapılan aktivasyon işlemi sonrasında gerçekleşmiştir. Devir çalışmalarının tamamlanmasına müteakip süre çalışmasına geçilmiştir. Bu amaçla daha önce birer saat süre ile çalışılan numune için 600 devirde mekanik aktivasyon süresi araştırılmıştır.

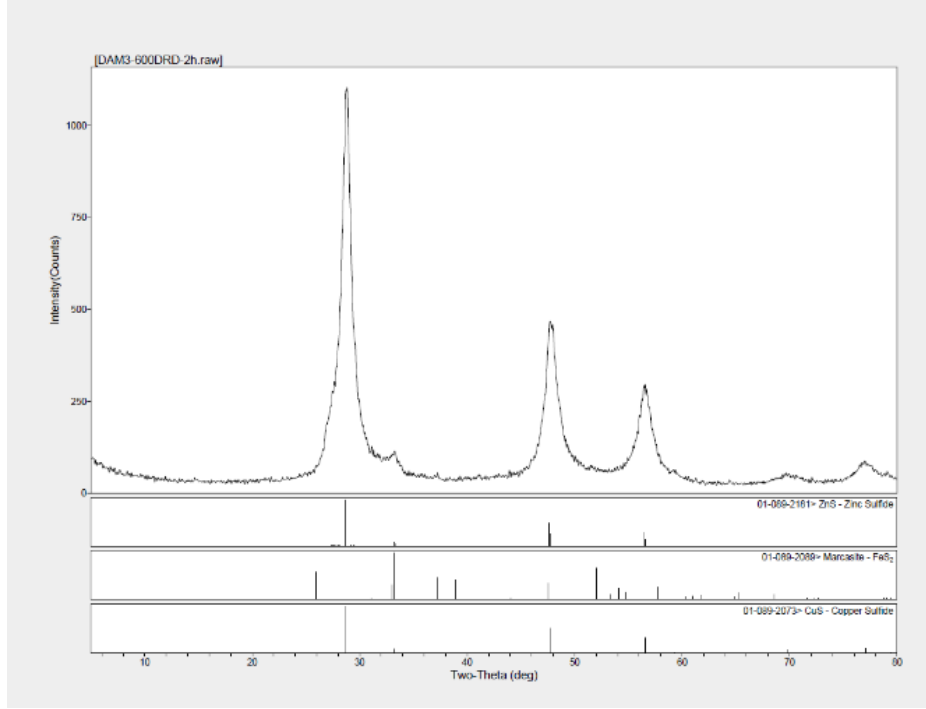
2) *Mekanik Aktivasyon İşleminde Süre Çalışmaları:* Gezegenel bilyalı değirmende 600 devirde 1, 2 ve 3 saat süreyle çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen numunelerin SEM görüntüleri aşağıda Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. 600 devirde farklı sürelerde mekanik aktive edilmiş numunelerin SEM görüntüleri; a) 1 saat, b) 2 saat ve c) 3 saat

Şekil 4a 'da görüldüğü gibi 1 saatlik sürede aktivasyon işlemine tabi tutulan numunenin nispeten iri taneli olduğu görülmektedir. Aktivasyon işlem süresinin 2 saat olduğu Şekil 4b görüntüsünden taneciklerin küçüldüğü ve homojen dağılımda olduğu görülmektedir. Aktivasyon işlem süresinin 3 saat olduğu numunenin görüntüsü olan Şekil 4c'de ise tanelerin aglomere olduğu irileştiği ve homojenitenin de bozulduğu anlaşılmaktadır. Böylece en uygun mekanik aktivasyon süresinin 2 saat olduğu anlaşılmaktadır.

Mekanik aktivasyon işlemi sonrası elde edilen numunelerin analizlerine göre liç tatbikatında küçülen çekirdek modeline ulaşmada birtakım güçlükler çıkarabilme ihtimali dolayısı ile 2 saatlik aktivasyon süresi fazlasıyla yeterlidir. Bu açıdan bundan sonraki çalışmalarda 2 saatlik süreyle mekanik aktive edilmiş numuneler kullanılmıştır. Elde edilen numunelerin faz bileşimlerini anlamak için XRD analizleri yapılmıştır. 2 saat süre ile mekanik aktivasyon işlemi uygulanarak elde edilen numunelerin XRD paternleri Şekil 5 'te görülmektedir.



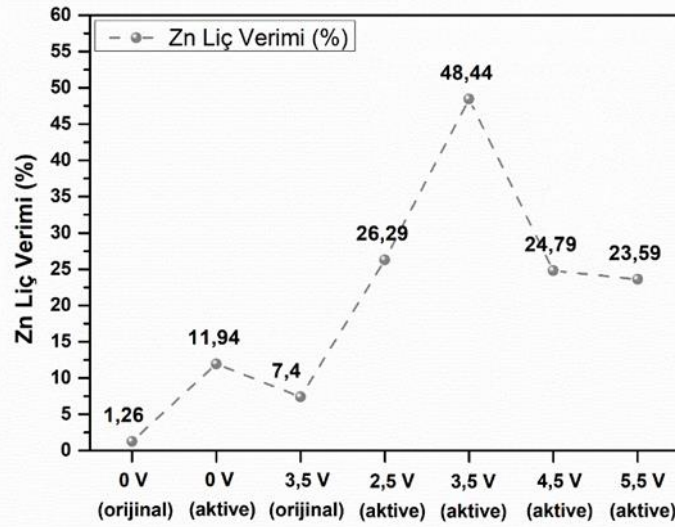
Şekil 5. 2 saat süre ile mekanik aktivasyon işlemi uygulanan numunelerin XRD paternleri

Şekil 5 'te görüldüğü gibi 2 saat aktive edilmiş cevherin 3 ana bileşeni mevcuttur. Bunların ZnS, FeS₂ ve CuS olduğu görülmektedir.

B. Liç Çalışmaları

Liç çalışmalarında 3M sülfürik asit çözeltisi, 1/30 katı/ sıvı oranı, 300 rpm karıştırma hızı ve 25°C işlem sıcaklığı ve 60 dakika süre parametreleri kullanılmıştır.

1)Uygulanan Voltajın Liç Verimine Etkisi: Orijinal ve mekanik aktivasyon uygulanan numuneler kullanılarak farklı voltaj değerlerinde elektrooksidasyon destekli liç deneyleri yapılmıştır. Elektrooksidasyon liç işleminin direkt liç uygulamasına göre farkını inceleyebilmek için öncelikle direkt liç çalışmaları yapılmıştır. Böylece hem elektrooksidasyonun hem de mekanik aktivasyon işlemi uygulanarak hazırlanan numunelerin liç işlemindeki etkisi beraberince incelenmiştir. Elde edilen liç verimleri Şekil 6 'da görülmektedir.



Şekil 6. Uygulanan voltajın ve mekanik aktivasyon işleminin Zn liç verimine etkisi.

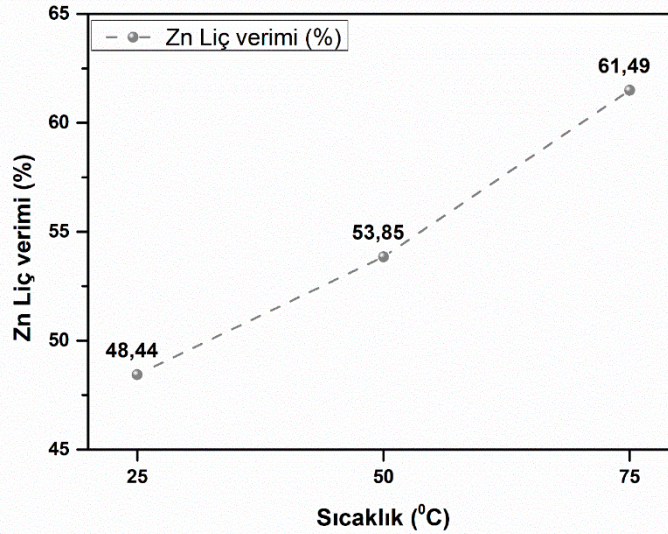
Şekilde 6 'da aktive edilmiş numunelerin 0, 2,5, 3,5, 4,5 ve 5,5 V uygulanarak elektrooksidasyon liçi ile elde edilen çinko ekstraksiyon veriminin 3,5 V'a kadar arttığı ve 3,5 V değerinden sonra uygulanan voltajın artırılması ile verimin azaldığı görülmektedir. Anodik oksidasyon ile yükseltgen ortam oluşturulmak istenen liç ortamında, 3,5 V değerinden sonra çözünme veriminin düşmesinin nedeni; partikül yüzeyinde oluşan elementel kükürdün pasivizasyon etkisi göstererek difüzyon hızını düşürmesi ve metallerin ekstraksiyonunu önemli ölçüde etkilemesi olabileceği gibi artan gerilim ile açığa çıkan daha fazla O₂'in anot yüzeyinde bir bariyer tabakası oluşturması ve sıvının (konsantrinin) anot yüzeyine gidişinin engellenmesi olabilir. Ayrıca çıkan O₂ 'in sülfürleri banyo yüzeyine taşınması ve bir köpük oluşturarak sıvı ile cevher partiküllerinin temasını azaltması da etkenler arasındadır [5-9]. Bu etkinin 3,5 V sonrası arttığı ve verimin yaklaşık %50 düştüğü görülmüştür. Aktive numunelerde en yüksek çinko veriminin 3,5 V 'ta elde edildiği görüldüğünden, aktive edilmemiş orijinal numunede de 0 ve 3,5 V'ta da elektrooksidasyon liçi yapılmıştır. Direkt liç işlemine göre 3,5 V 'ta elektrooksidasyonla liç işlemi yapılan numunenin çinko ekstraksiyonu 5,87 kat daha fazladır. Aktive edilmiş numunede ise 0 V'a göre 3,5 V'ta çinko ekstraksiyonu 4,1 kat artmıştır. Böylece hem elektrooksidasyon liç işleminin hem de mekanik aktivasyon işleminin liç verimini ciddi oranlarda artırdığı görülmektedir.

Liç sisteminde anot yüzeyinde gerçekleşen reaksiyon ($ZnS + H_2SO_4 + 1/2O_2 \rightarrow ZnSO_4 + S^0 + H_2O$) sırasında açığa çıkan kükürdün aşağıdaki gibi yükseltgendeki literatürde ifade edilmiştir [5];



Elektrooksidasyon liç işlemi ile çözünmeyen elektrot anottur. Elektron üretimi ve yükseltgenme işlemi OH⁻ iyonları ile sağlanmaktadır. Böylece oluşan oksijen yükseltgeyici olarak sülfatların oluşumunu desteklemektedir. Elektrooksidasyon liç işleminde en iyi liç verimi 3,5 V uygulanan liç işleminde gerçekleşmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda 3,5 V optimize edilmiştir.

2) *Sıcaklığın Liç Verimine Etkisi*: Liç çalışmalarında mekanik aktivasyon uygulanan numuneler kullanılarak 3M sülfürik asit çözeltisi, 1/30 katı/ sıvı oranı, 300 rpm karıştırma hızı, 60 dakika süre ve uygulanan voltajın 3,5 V olduğu parametreler sabit tutulmuştur. 25-50-75°C işlem sıcaklıkları sonrası liç verimleri Şekil 7'de incelenmiştir.



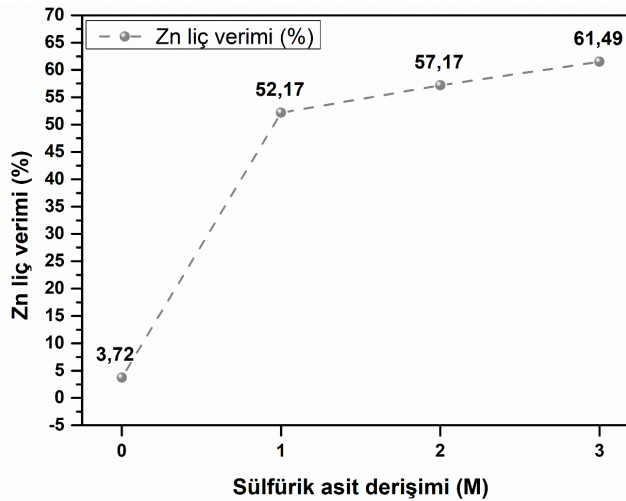
Şekil 7. Sıcaklığın Zn liç verimine etkisi.

Sıcaklık deneyleri göstermektedir ki artan sıcaklıkla birlikte çinkonun çözünme verimi artmaktadır. Sıcaklık çözünme reaksiyonları için gereken aktivasyon enerjisini sağlamakta olup, artan sıcaklıklar da çözünmeyi artırmaktadır. Ayrıca daha sıcak çözeltiler aşırı doymun çözeltiler olup, metal iyonlarının çökmeden bulunabileceği konsantrasyon daha fazladır. Yani sıcak çözeltiler daha fazla iyon bulundurma kapasitesine sahip olmaktadır. Dolayısı ile sıcak çözeltiler daha fazla çözme reaktivitesine sahiptir.

Artan liç sıcaklığı çinko verimini, asit konsantrasyonu ile paralel, tane boyutu ile ise ters orantılı etkiler. 30 ile 60°C arasında farklı sıcaklıklarda yapılan liç işlemlerinde en yüksek çinko verimine 60°C 'de ulaşıldığı raporlanmıştır [10].

Elektrooksidasyon liç işleminde sıcaklığın etkisinin incelendiği deneylerde en iyi liç verimi 75°C 'de uygulanan liç işleminde gerçekleşmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda 75°C optimize edilmiştir.

3)Çözelti Konsantrasyonunun Liç Verimine Etkisi: Saf su, 1M, 2M ve 3M sülfürik asit kullanarak çözücü ortamın etkisini incelemek için deneyler yapılmıştır. Deneylerde mekanik aktif numuneler kullanılarak, 1/30 katı/sıvı oranı, 300 rpm karıştırma hızı, uygulanan voltaj 3,5 V, 75°C işlem sıcaklığı ve 60 dakika süre parametreleri uygulanmıştır.



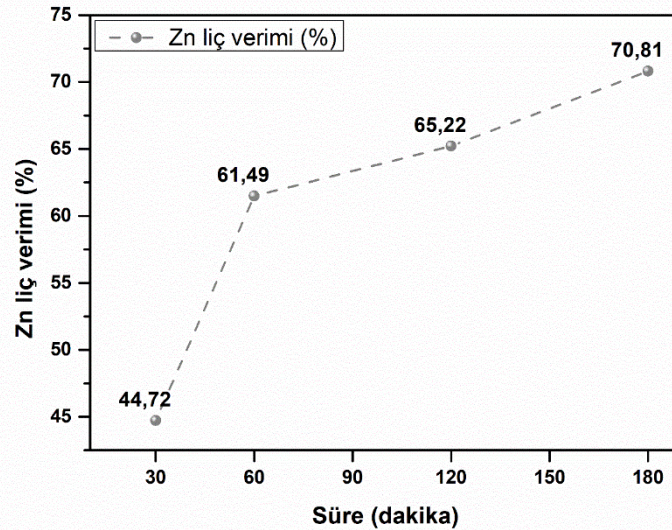
Şekil 8. Çözelti konsantrasyonunun Zn liç verimine etkisi

H₂SO₄ derişimi artışının çinko çözünme verimine etkisi Şekil 8 'de görülmektedir. Saf su ile başlanarak, yaklaşık 1'er molarlık artışlar şeklinde olduğunda çinko çözünme veriminde hızlı bir artış gözükmemektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda çözücü konsantrasyonunun artışıyla çinko çözünme oranının arttığı bulunmuştur. Çözücü reaktiviteleri açısından yapılan incelemede H₃PO₄ ve H₂SO₄'ün reaktivitelerinin HClO₄, HNO₃ ve HCl 'den daha yüksek olduğu, çözücüdeki proton ve anyon konsantrasyonundan kaynaklandığı ifade edilmiştir [10].

Liç işlemi sırasında (1), (2), (3) ve (4) numaralı reaksiyonların yanında meydana gelen diğer birkaç reaksiyon aşağıdaki gibidir;



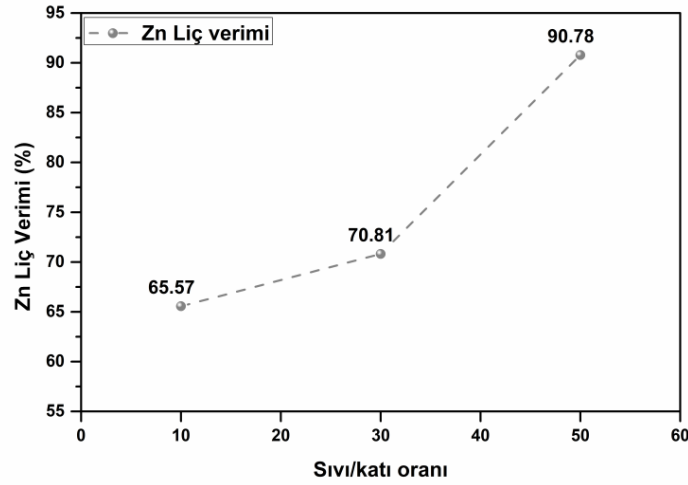
4)Sürenin Liç Verimine Etkisi: İşlem süresinin liç çalışmalarına etkisini incelemek için mekanik aktivasyon uygulanan numuneler kullanılarak 3M sülfürik asit çözeltisi, 1/30 katı/ sıvı oranı, 300 rpm karıştırma hızı, uygulanan voltajın 3,5 V olduğu ve sıcaklığın 75°C sabit tutulduğu deney parametreleri kullanılmıştır. 30dakika, 60 dakika, 120 dakika ve 180 dakika liç süresi sonunda çinko liç verimleri Şekil 9 'da incelenmiştir.



Şekil 9. Liç süresinin Zn liç verimine etkisi

Çözünme sırasında 1 saat deney süresinde ciddi bir çinko liç verimi gerçekleşmektedir. Daha uzun sürelerde 1 saatlik süreye göre artış daha sınırlı olmaktadır. Ancak artışın liç süresiyle devam ettiği de anlaşılmaktadır. Literatürde çinko liç atıklarından çinko kazanımında artan liç süresinin çinko verimini artırdığı gözlenmiştir [11]. Elektrooksidasyon liç işleminde sürenin çözünme verimine etkisinin incelendiği deneylerde en iyi liç verimi 180 dakika işlem süresinde gerçekleşmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda işlem süresi 180 dakika olarak optimize edilmiştir.

5)Sıvı/Katı Oranının Çinko Ekstraksiyon Verimine Etkisi: Sıvı/katı oranı, çözünme ortamında iyonların serbest kalıp çözeltilmeye geçmesi için önemli bir etkidir. Sıvı/katı oranı deneyi farklı oranlardaki katının çözünme verimliliğini tespit etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 10 'da verilmiştir. Deneylerde mekanik aktif numuneler kullanılarak, 3M sülfürik asit çözeltisi, 300 rpm karıştırma hızı, uygulanan voltaj 3,5 V, 75°C işlem sıcaklığı ve 180 dakika süre parametreleri uygulanmıştır.



Şekil 10. Sıvı/katı oranının Zn liç verimine etkisi

Sıvı/katı oranında Mekanik aktivasyon ile serbestleşen taneciklerin sülfürik asit ile çözünmesi daha da mümkün hale gelmektedir. Artan sıvı/katı oranı sayesinde çözeltiliye geçmek için ihtiyaç duyulan iyon miktarı ile verimde %38,5'lük bir artış gerçekleşmiştir.

Sıvı/katı oranının artışı ile çinko verimindeki ciddi artış, katının sıvı ile en ideal şartlarda reaksiyonuna imkân vermesinden dolayıdır. Ayrıca 50 sıvı/katı oranında liç verimi sonuçları en yüksek verimlere ulaşmasını, Nerst birim çözeltilideki iyon konsantrasyonunun yüksek olması durumunda iyonların ozmotik basıncının çözünmeyi zorlaştığı şeklinde ifade etmektedir. Dolayısı ile birim katı için 50 kat sıvının olduğu koşulda litre başına daha az iyon konsantrasyonu söz konusu olduğundan çözünme daha da kolaylaşmaktadır [12]. Belirli bir sıvı/katı oranından fazlası, reaktör hacminin yeterince kullanılamaması, fazla pulp ve çözelti ile uğraşılması, sonraki empürite giderimi ve metal kazanım aşamalarını da zorlaştıracığı nedenlerinden dolayı da endüstriyel açıdan istenmez. Literatürde yapılan bir çalışmada sıvıdaki ağırlıkça katı yüzdesinin artmasıyla çinko liç veriminin azaldığı tespit edilmiştir [11].

IV. SONUÇLAR

Çinko cevherlerinin elektrooksidasyonla çözünmesinde mekanik aktivasyonun önemli etkisi olduğu anlaşılmıştır. Voltaj deneylerinde çinko cevherindeki çinko en yüksek %48,44 'lük verimle 3,5V 'ta çözülmüştür. %61,49'lük yüksek çinko liç verimi 75 °C liç sıcaklığında elde edilmiştir. 3 M 'lık sülfat asidi konsantrasyonunda ve 180 dakika liç süresinde %70,81'lik liç verimlerine ulaşılmıştır. Sıvı/katı oranının 50 olduğu liç koşullarında en yüksek verime ulaşılmış olup, %90,78'dir. Bu verim deneylerde elde edilen en yüksek ekstraksiyon verimidir.

KAYNAKLAR

- [1] Demir, F. (2021). Mekanik aktivasyon yapılmış çinko konsantrelerinde kavurma sıcaklığının redüksiyonuna etkisinin termal analiz yöntemleri ile incelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 9(2), 324-331.
- [2] *Applying geo science to Australia's most important challenges*. Zinc Geo science Australia, <https://www.ga.gov.au/education/classroom-resources/minerals-energy/australian-mineral-facts>, [Erişim tarihi: 01.02.2022].
- [3] Antuñano, N., Cambra, J. F., & Arias, P. L. (2016). Fluoride removal from Double Leached Waelz Oxide leach solutions as alternative feeds to Zinc Calcine leaching liquors in the electrolytic zinc production process. *Hydrometallurgy*, 161, 65-70.
- [4] Akyol, K. (2018). *Küre bölgesi kompleks sülfürlü bakır cevherlerinin anodik oksitleme yöntemi ile liçi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [5] Özboz, F. (2017). *Rize bölgesi kompleks sülfürlü bakır cevherlerinin anodik oksitleme yöntemi ile liçi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- [6] Youcai, Z., & Stanforth, R. (2000). Integrated hydrometallurgical process for production of zinc from electric arc furnace dust in alkaline medium. *Journal of Hazardous Materials*, 80(1-3), 223-240.
- [7] Ahmadi, M., Hosseini, M. R., Ahmadi, A., & Foroutan, A. (2020). Continuous bio-hydrometallurgical extraction of zinc from a bulk lead-zinc flotation concentrate on a pilot scale. *Minerals Engineering*, 156, 106529.
- [8] Yang, K., Li, S., Zhang, L., Peng, J., Chen, W., Xie, F., & Ma, A. (2016). Microwave roasting and leaching of an oxide-sulphide zinc ore. *Hydrometallurgy*, 166, 243-251.
- [9] Sıtil, B., Keskin E., Turan M. D., & Altundoğan H. S. (2016). *Sülfürik Asit Varlığında Hava Oksijeni Kullanarak Küre Kalkopirit Konsantresinden Bakırın Ekstraksiyonu*. Fırat Üniversitesi, <https://silo.tips/download/slfrk-ast-varliinda-hava-oksijen-kullanarak-kre-kalkoprt-konsantresnden-bakirin-e>, [Erişim tarihi: 01.02.2022].
- [10] Souza, A. D. D., Pina, P. D. S., Lima, E. V. D. O., Da Silva, C. A., & Leão, V. A. (2007). Kinetics of sulphuric acid leaching of a zinc silicate calcine. *Hydrometallurgy*, 89(3-4), 337-345.
- [11] Sethurajan, M., Huguenot, D., Jain, R., Lens, P. N., Horn, H. A., Figueiredo, L. H., & van Hullebusch, E. D. (2017). Leaching and selective zinc recovery from acidic leachates of zinc metallurgical leach residues. *Journal of Hazardous Materials*, 324, 71-82.
- [12] Bor, F. Y. (1989). *Ekstraktif Metalurji Prensipleri Kısım II*. İTÜ Matbaası, İstanbul, 544.

Araştırma Makalesi - Research Article

Küresel Grafitli Dökme Demir Kalıp Malzemesi Üzerine Farklı Toz Malzemeleri Kullanılarak Lazer Dolgu Kaynağı Uygulaması

Laser Cladding Application Using Different Powder Materials on Spheroidal Graphite Cast Iron Mold Material

Adem Karşı¹, Meryem Altay^{2*}, Hakan Aydın³, Ali Bayram⁴

Geliş / Received: 13/02/2022

Revize / Revised: 20/04/2022

Kabul / Accepted: 05/06/2022

ÖZ

Lazer dolgu kaynağı, toz malzemenin püskürtülerek bir lazer ışını yardımı ile temel malzemenin ergitilmesi prensibine dayanır; yüzey modifikasyonu yaratarak yeni bir yaklaşım sağlaması ile ön plana çıkmaktadır. UTP PLASweld Ferro55 ve UTP PLASweld 73G3 toz malzemeleri kullanılarak GGG-70L küresel grafitli dökme demir kalıp malzemesi üzerine lazer dolgu kaynağı uygulanmıştır; farklı iki toz dolgu malzemesinin kaplama kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır, elde edilen çıktılar otomotiv sac metal şekillendirme kalıplarının tamiratında kullanılması hedeflenmiştir. Lazer gücü, ilerleme hızı, toz debisi parametreleri değişimlerinin kaynak geometrisi, mikro sertlik, çatlak ve gözenek oluşumuna etkisi incelenmiştir, Taguchi L9 ortogonal dizisi kullanılarak optimum proses parametreleri belirlenmiştir. Ferro55 malzemesi için yüksek seviye lazer gücü (1,7 kW), UTP 73G3 toz malzemesi için düşük seviye ilerleme hızı (9 mm/s) parametrelerinin kullanılması kaynak geometrisi açısından optimum sonuçlar vermektedir. Gözenek oluşumu açısından Ferro 55 malzemesi daha iyi konumda iken; UTP 73G3 malzemesinin çatlak oluşumu riski daha düşüktür. Elde edilen maksimum mikro sertlik değerleri birbirine yakındır (777,3 HV_{0,1}).

Anahtar Kelimeler- Küresel Grafitli Dökme Demir, Lazer Dolgu Kaynağı, Proses Parametreleri, Optimizasyon, Kaynak Geometrisi

ABSTRACT

Laser cladding is based on the principle of melting the base material via a laser beam by spraying the powder material; it comes to stand out by providing a new approach by creating surface modification. Using UTP PLASweld Ferro55 and UTP PLASweld 73G3 powder materials, laser cladding was implemented on GGG-70L ductile cast iron die material; the effects of two different powder filling materials on the cladding quality were investigated. The obtained results were aimed to be used in automotive sheet metal forming die repairs. The effects of laser power, scanning speed, powder flow rate parameters on weld geometry, microhardness, crack, and pore formations were investigated, and optimum process parameters were determined by using Taguchi L9 orthogonal array. Using high-level laser power (1,7 kW) for Ferro55 material and low-level scanning speed (9 mm/s)

¹İletişim: akarsi@coskunoz.com.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5908-9626>)

Coşkunöz Kalıp Makine Ar-Ge Merkezi, Fethiye Organize Sanayi Bölgesi, 16140 Bursa Türkiye

^{2*}Sorumlu yazar iletişim: meryemaltay@uludag.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-6930-6292>)

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, 16059 Görükle Bursa Türkiye

³İletişim: hakanay@uludag.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7364-6281>)

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, 16059 Görükle Bursa Türkiye

⁴İletişim: bayram@uludag.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7311-8358>)

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, 16059 Görükle Bursa Türkiye

parameters for UTP 73G3 powder material were achieved optimum results in terms of welding geometry. While Ferro 55 material was better in terms of pore formation; UTP 73G3 material had a lower risk of crack formation. The maximum microhardness values obtained were close to each other (777,3 HV_{0,1}.)

Keywords-Spheroidal Graphite Cast Iron, Laser Cladding, Process Parameters, Optimization, Cladding Geometry

I. GİRİŞ

Mühendislik malzemeleri üstün özellikleri sayesinde otomotiv, havacılık, elektronik gibi pek çok endüstride yapısal malzemeler olarak kullanılmaktadır; ancak düşük sertlik elde edilmesi, aşınma ve korozyon direncinin düşük olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Lazer dolgu kaynağı teknolojisi, yüzey modifikasyonu yaratarak yeni bir yaklaşım sağlaması ile ön plana çıkmaktadır: temel malzemenin üzerine daha üstün özelliklere sahip bir malzemenin kaplanması ile istenilen mekanik özellikler elde edilebilmektedir. Lazer dolgu kaynağı, lazer ışınının temel malzeme üzerindeki odak bölgesine aktarılması ve eş zamanlı olarak toz dolgu malzemesinin püskürtülmesi prensibine dayanmaktadır [1-4]; çok etkileşimli bir yöntem olduğundan malzeme ve proses parametrelerinin etkisi birlikte incelenmelidir.

Yüksek performanslı lazer kaplama malzemeleri üzerine yapılan araştırmalar son yıllarda artmaktadır [5-8]. Wang ve ark. Ti-6Al-4V'nin aşınma direncini artırmak için WC-40Co toz malzemesi ile lazer dolgu kaynağı uygulaması gerçekleştirmiş; mikro yapı, mikrosertlik, aşınma ve korozyon direncini incelemişlerdir [9]. Nie ve ark. 17-4PH paslanmaz çelik dolgu malzemesi kullanarak yaptıkları araştırmada, farklı lazer gücü parametrelerini inceleyerek mikro yapı, mikro sertlik arayüz bağlanma mukavemetini incelemişler; uygun lazer gücü parametresini belirlemişlerdir [10]. Ruiz ve ark. lazer dolgu kaynağı teknolojisinin kalıp onarımında kullanımına yönelik Helyum ve Argon koruyucu gazlarının etkisini incelemişlerdir. Kullanılan koruyucu gaze göre kaplama yüksekliğinde ve sıcaklık dağılımında farklılıklar gözlemlenmiştir [11]. Ayrıca toz dolgu malzeme özellikleri, ergiyik havuzu dinamiklerini etkileyerek gözenek oluşumu, çatlak başlangıcı ve ilerlemesinde etkilidir. Kullanım yerine ve işlevine göre kaplama malzemesinin ve proses parametrelerinin uygun seçilmesi önem arz etmektedir [12-15].

Lazer dolgu kaynağı mekanik ve fonksiyonel özellikleri sayesinde büyük bir potansiyele sahiptir; temel malzeme ile kaplama arasındaki kuvvetli metalurjik bağ sağlaması özelliği ile makine parçalarının onarımı için uygundur. Bu çalışmada UTP PLASweld Ferro 55 ve UTP PLASweld 73G3 toz malzemelerinin küresel grafitli dökme demirler üzerindeki lazer dolgu kaynağı incelenmiştir, elde edilen çıktıların otomotiv gövde kalıp tamiratında kullanılması ve ileriki çalışmalar için yol göstermesi hedeflenmektedir. Optimum proses parametrelerinin belirlenmesinde Taguchi optimizasyon metodu kullanılmıştır: lazer gücü ilerleme hızı, toz malzeme debisi parametreleri seçilmiştir. Proses parametrelerinin etkisi kaynak geometrisi, mikroyapı üzerindeki gözenek ve çatlak oluşumu, mikro sertik açısından değerlendirilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Materyal

Bu çalışmada, UTP PLASweld Ferro55 ve UTP PLASweld 73G3 toz malzemeleri kullanılarak GGG-70L küresel grafitli dökme demir temel malzemesi üzerine lazer dolgu kaynağı uygulanmıştır; farklı iki toz dolgu malzemesinin kaplama kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

GGG-70L küresel grafitli dökme demir, genellikle sac metal şekillendirme kalıplarında kullanılmaktadır. UTP PLASweld Ferro 55 toz dolgu malzemesi aşınmaya maruz kalan, yüksek sıcaklıklarda orta derecede darbeye dayanıklı parçalarda kullanılmaktadır. UTP PLASweld 73G3 toz malzemesi ise küresel formulu toz partiküllerinden oluşmaktadır; Krom ve Molibden alaşım elementlerini içerdiğinden bası yükleri, abrazyon aşınma ve yüksek sıcaklıklarda çalışma koşullarına dayanıklıdır. UTP PLASweld Ferro 55 ve UTP PLASweld 73G3 malzemelerinin kimyasal kompozisyonları Tablo 1'de, GGG-70L malzemesinin kimyasal kompozisyonu Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Toz metal dolgu malzemeleri kimyasal kompozisyonları (% ağırlık)

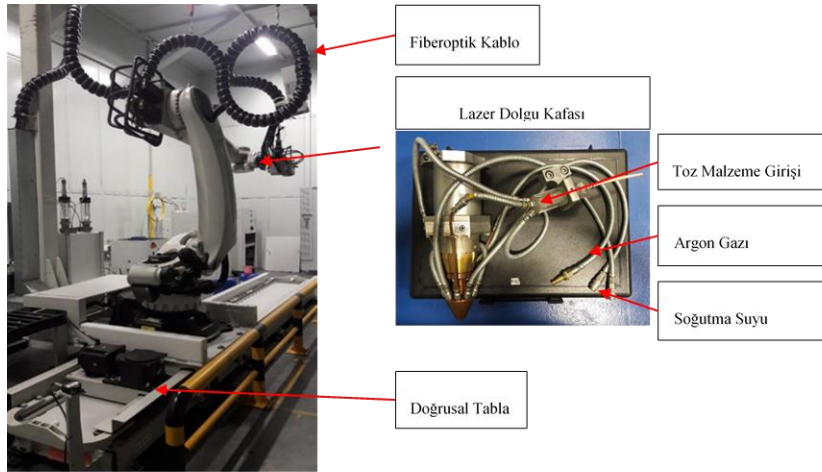
Malzeme	Tane Boyutu (µm)	Sertlik (HRC)	Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
UTP PLASweld Ferro 55	125+45	55	Bal.	0,35	0,3	1,1	7	7	2,2
UTP PLASweld 73G3	150+50	45	Bal.	0,2	0,3	0,6	5,5	-	4

Tablo 2. Temel malzeme kimyasal kompozisyonu (% ağırlık)

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V	Mg
GGG -70L	3,48	2,49	0,403	0,012	0,01	0,05	0,381	0,79	0,71	0,02	0,05

B. Lazer Dolgu Kaynağı Prosesi ve Proses Parametreleri

Lazer dolgu kaynağı işlemleri LDF4000-100 diyot lazer ünitesinde gerçekleştirilmiştir: 6 eksene sahip "KUKA KR 90 R3100 Extra" robot sistemine ek olarak kartezyen koordinatlarda hareketi sağlayan "KUKA KL 1500-3T" doğrusal tabla kullanılmaktadır. Lazer dolgu kafası, malzemenin taşınmasını sağlayan hortum sistemi, fiberoptik kablolar ve soğutma suyu tesisatı robot üzerinden kontrol edilmektedir (Şekil 1). Toz dolgu malzemesinin kaynak alanına ulaştırılması 5 lt/dk debide Argon koruyucu gazı eşliğinde sağlanmaktadır; kullanılan soğutma suyu 15 - 35 °C sıcaklık, 0,22 – 0,3 MPa basınç ve 1,8 lt/dk akış debisine sahiptir. Lazer dolgu kaynağı ünitesi diğer teknik özellikleri Tablo 3’de belirtilmiştir.



Şekil 1. Erlas Gmbh Lazer Dolgu Kaynağı Ünitesi Robot ve Doğrusal Hareket Tablası

Tablo 3. Lazer Dolgu Kaynağı Ünitesi Teknik Özellikler

Lazer Gücü	4000 W
Minimum Işın Kalitesi	30 mm/rad
Optik Fiber	600 µm
Minimum Odaklanma (150 mm mesafe)	450 µm
Fiber Kablo Uzunluğu	30 m
Lazer Dalga Boyu Aralığı	900 – 1070 nm
Lazer Işın Çapı	3 mm
Toz Besleme	Oerlikon Twin-120A
Lazer Kafa	Erlas Gmbh
Sıcaklık Ölçer	IMPAC – IGAR 12-LO
Lazer Kafa Soğutma Cihazı	Deltatherm LTK 1-4
Yazılım	Toplas 3D V3

Lazer gücü (1,3 kW-1,5 kW-1,7 kW), ilerleme hızı (9 mm/s-10 mm/s-11 mm/s) ve toz malzeme debisi (12 g/dk-13,5 g/dk-15 g/dk) parametreleri için L9 ortogonal dizisi kullanılarak Taguchi deney tasarımı oluşturulmuştur (Tablo 4). Seçilen parametre değerleri endüstriyel uygulamalardaki tecrübelerimizden yararlanarak belirlenmiştir. Ayrıca lazer gücü, ilerleme hızı ve lazer ışını çapına bağlı olan ısı girdisi hesaplanmıştır (Denklem 1).

$$Isı\ Girdisi = \frac{Lazer\ Gücü}{İlerleme\ Hızı * Lazer\ Işın\ Çapı} \quad (1)$$

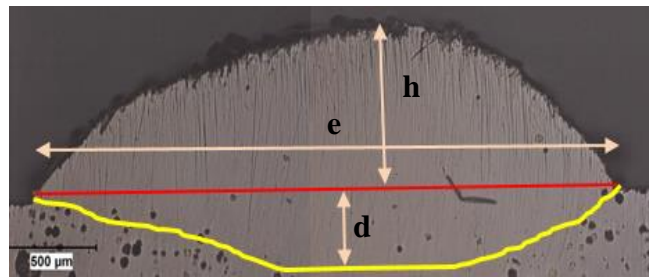
Tablo 4. Lazer Dolgu Kaynağı Taguchi Deney Tasarımı Parametreleri

Deney No	Lazer Gücü (kW)	İlerleme Hızı (mm/sn)	Toz Debisi (gr/dk)	Isı Girdisi (J/mm ²)
1	1,3	9	12	48,15
2	1,3	10	13,5	43,33
3	1,3	11	15	39,39
4	1,5	9	13,5	55,56
5	1,5	10	15	50,00
6	1,5	11	12	45,45
7	1,7	9	15	62,96
8	1,7	10	12	56,67
9	1,7	11	13,5	51,52

C. Lazer Dolgu Kaynağı Karakterizasyonu

Lazer dolgu kaynağı işlemi tek katman olarak gerçekleştirilmiştir. 30 mm x 20 mm boyutlarındaki numuneler tel erozyon ile kesilerek sırasıyla zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur: 180, 400, 600, 800, 1000, 1200 SiC zımpara ile zımparalanmış, 1 µ ve 0,3 µ alümina parlatma sıvısı ile parlatma uygulanmıştır. Nikon DIC optik mikroskop ile Clemex programı yardımıyla x50 ve x100 büyütme altında mikroyapılar incelenmiştir: kaynak geometrisi, çatlak ve gözenek oluşumları açısından değerlendirilmiştir. Seçilen 5 numune için mikro sertlik değerleri DUROLINE-M Vickers sertlik ölçüm cihazı ile 10 s boyunca 50 g yük uygulanarak 100 µ aralıklarla ölçülmüştür, mikrosertlik ölçümleri dikey kesitten alınmıştır.

Lazer dolgu kaynağı kalitesini tespit edebilmek için kaynak geometrisi uzunlukları ölçülmüştür: kaynak eni (e), kaynak yüksekliği (h) ve temel malzemede oluşan ergiyik derinliği (d) belirlenmiştir (Şekil 2). Ayrıca numunelerde çatlak ve gözenek oluşumları incelenmiştir.



Şekil 2. Lazer Dolgu Kaynağı Enine Kesit Görüntüsü

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

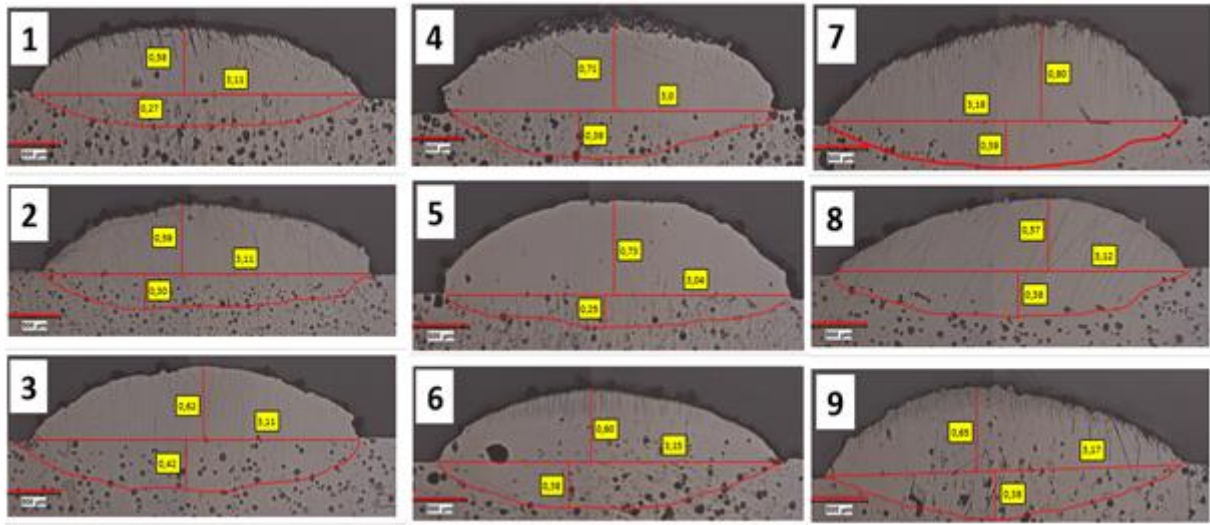
A. Lazer Dolgu Kaynağı Geometrisi

Ferro55 ve UTP 73G3 toz malzemeleri için kaynak eni (e), kaynak yüksekliği (h) ve kaynak derinliği (d) geometrik uzunlukları belirlenmiştir: kaynak geometrisi karakteristikleri mikroyapı görüntüleri Şekil 3 ve Şekil 4'de, ölçülen değerler ise Tablo 5 ve Tablo 6'da bulunmaktadır.

Ferro 55 malzemesi için en yüksek kaynak eni 3,19 mm, UPT 73G3 için 3,29 mm'dir. İki malzeme için de en yüksek değerin elde edildiği "7" numaralı numuneler, en yüksek ısı girdisine sahiptir (62,96 J/mm²): lazer gücü 1,7 kW, ilerleme hızı 9 mm/s, toz debisi 15 g/dk parametreleri ile üretilmiştir. Kaynak eni genişliğinin artırılması için yüksek seviye lazer gücü, düşük seviye ilerleme hızı ve yüksek seviye toz besleme hızı kullanılmalıdır.

Maksimum kaynak yüksekliği, Ferro 55 ve UTP 73G3 malzemeleri için 0,8 mm ve 0,66 mm olarak ölçülmüştür: üretim parametreleri ise lazer gücü 1,7 kW, ilerleme hızı 9 mm/s, toz debisi 15 g/dk, ısı girdisi 62,96 J/mm², iki malzeme için de ortaktır.

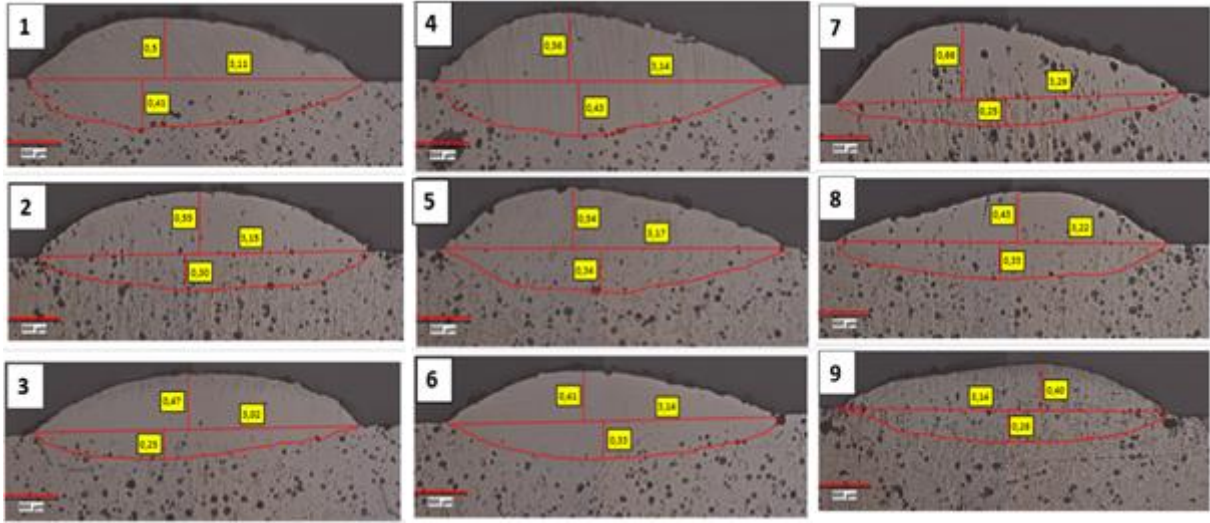
Kaynak derinliği için Ferro 55 malzemede elde edilen en yüksek değer 0,42 mm, UPT 73G3 için 0,43 mm'dir. Ferro 55 malzemede en yüksek kaynak derinliğinin elde edilmesinde düşük düzey lazer gücü (1,3 kW) yeterli olurken; UTP 73G3 malzemede orta seviye lazer gücü (1,5 kW) ile en yüksek kaynak derinliği elde edilebilmiştir.



Şekil 3. Ferro 55 toz malzemesi lazer dolgu kaynak geometri ve karakteristikleri mikroskop görüntüleri

Tablo 5. Ferro 55 toz malzemesi lazer dolgu kaynak geometri ve karakteristikleri (mm)

Deney No	Kaynak Eni (e)	Kaynak Yüksekliği (h)	Kaynak Derinliği (d)
1	3,11	0,58	0,27
2	3,11	0,59	0,30
3	3,11	0,62	0,42
4	3,0	0,71	0,39
5	3,04	0,73	0,25
6	3,15	0,6	0,38
7	3,19	0,8	0,39
8	3,12	0,57	0,38
9	3,17	0,65	0,38



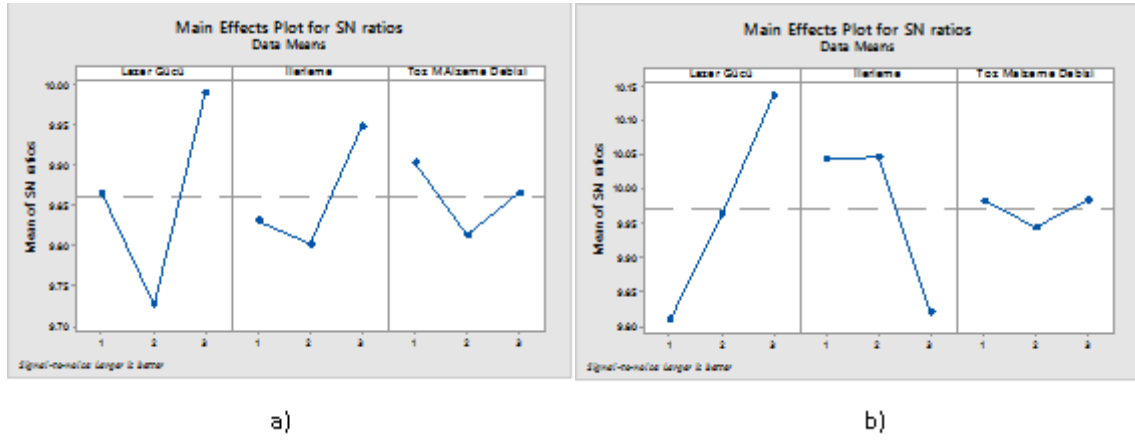
Şekil 4. UTP 73G3 toz malzemesi lazer dolgu kaynak geometri ve karakteristikleri mikroskop görüntüleri

Tablo 6. UTP 73G3 toz malzemesi lazer dolgu kaynak geometri ve karakteristikleri (mm)

Deney No	Kaynak Eni (e)	Kaynak Yüksekliği (h)	Kaynak Derinliği (d)
1	3,11	0,50	0,41
2	3,15	0,55	0,30
3	3,02	0,47	0,25
4	3,14	0,56	0,43
5	3,17	0,54	0,34
6	3,14	0,41	0,33
7	3,29	0,66	0,25
8	3,22	0,43	0,33
9	3,14	0,40	0,28

1) *Kaynak Eni*: Ferro 55 malzemesi için gerçekleştirilen Taguchi optimizasyonuna göre yüksek lazer gücü (1.7 kW), yüksek ilerleme hızı (11 mm/s) ve düşük toz debisi (12 g/dk) parametrelerinin kaynak enini arttırıcı etkisi tespit edilmiştir (Şekil 5.a). ANOVA analizi ile parametrelerin kaynak enine etki oranları belirlenmiştir (Tablo7): lazer gücü en etkin parametre (% 48,86); sonraki etkin parametre ilerleme hızıdır (% 17.09), toz debisi ise en düşük etki oranına (% 5,54) sahip parametredir.

UTP 73G3 malzemesinde yüksek lazer gücü (1,7 kW), düşük ve orta düzey ilerleme hızı (9 mm/s ve 10 mm/s) ile kaynak eni artmaktadır (Şekil 5.b). Yüksek lazer gücü ile elde edilen yüksek ısı girdisi sayesinde daha fazla ergime gerçekleşmekte, kaynak eni artmaktadır. İlerleme hızının yüksek seviye kullanılması ise kaynak havuzunda ergiyen toz miktarını azaltmakta dolayısıyla kaynak eni azalmaktadır; ilerleme hızının düşük ve orta düzeylerde kullanılmasıyla kaynak eni geometrik uzunluğu artış eğilimindedir. Toz debisinin etkisi ise çok sınırlı kalmıştır. Parametrelerin kaynak enine etki oranları sırası ile lazer gücü (%50,59), ilerleme hızı (%31,74), toz debisidir (%1,14); ANOVA analizi çıktıları Tablo 8'de gösterilmiştir.



Şekil 5. a) UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak eni S/N oranları b) UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak eni S/N oranları

Tablo 7. Ferro 55 lazer dolgu kaynağı numunelerinin kaynak eni için ANOVA analizi

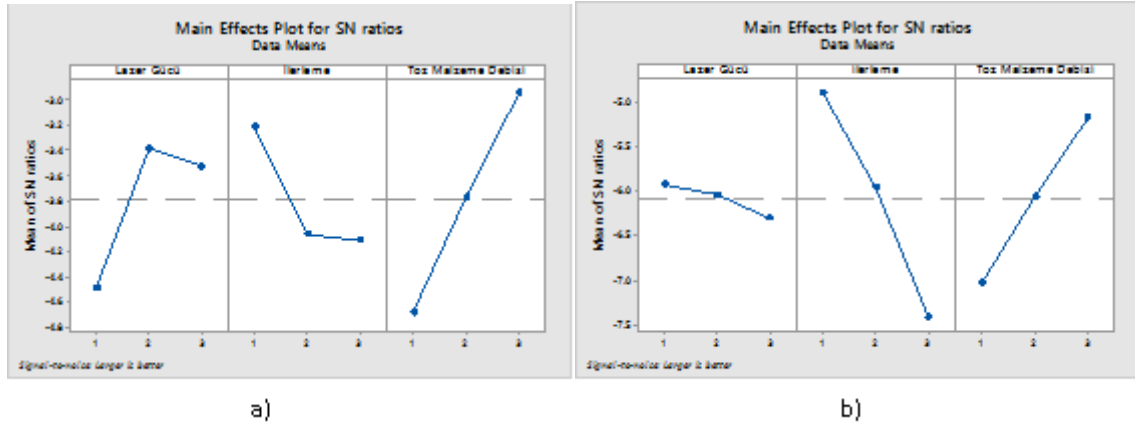
Parametre	Kareler Toplamı	Katkı Oranı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Lazer Gücü	0,01317	48,86%	0,00658	1,71	0,369
İlerleme Hızı	0,00461	17,09%	0,00230	0,60	0,625
Toz Debisi	0,00149	5,54%	0,00074	0,19	0,837
Erro	0,00768	28,51%	0,00384		
Total	0,026956	100,00%			

Tablo 8. UTP PLASweld 73G3 lazer dolgu kaynağı numunelerinin kaynak eni için ANOVA analizi

Parametre	Kareler Toplamı	Katkı Oranı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Lazer Gücü	0,02126	50,59%	0,01063	3,06	0,246
İlerleme Hızı	0,01334	31,74%	0,00667	1,92	0,343
Toz Debisi	0,00047	1,14%	0,00023	0,07	0,936
Error	0,006950	16,54%	0,00347		
Total	0,042033	100,00%			

2) *Kaynak Yüksekliği*: Taguchi analizine göre Ferro 55 malzemesi için orta seviye lazer gücü (1,7 kW), düşük ilerleme hızı (9 mm/s) ve yüksek toz debisi parametreleri (15 g/dk) ile üretim gerçekleştirildiğinde optimum kaynak yüksekliği geometrisi elde edilmektedir. İlerleme hızının düşük olmasıyla yüksek ısı girdisi sağlanmakta, kaynak havuzunda ergiyen toz miktarı artmaktadır; yüksek toz debisi ile birleşince kaynak yüksekliğini artırmaktadır (Şekil 6.a). Kaynak yüksekliği üzerinde en etkin parametreler sırasıyla toz debisi (%52,49), lazer gücü (%25,33) ve ilerleme hızıdır (%19,42). İlgili parametrelerin kaynak yüksekliği üzerindeki etkilerinin hata oranı toplamda düşüktür (%2,76) (Tablo 9).

UTP PLASweld 73G3 malzemesinde ise düşük seviye lazer gücü (1,3 kW), düşük ilerleme hızı (9 mm/s), yüksek toz debisi (15 g/dk) parametrelerinde kaynak yüksekliğinin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 6.b). Etkin parametreler sırası ile ilerleme hızı (%56,61), toz malzeme debisi (%31,77) ve lazer gücüdür (%0,27) (Tablo 10). Lazer gücü parametresinin etki oranının az olması, 1,3 kW lazer gücü ile 1,5 kW lazer gücü arasında nispeten fazla bir fark bulunmadığını göstermektedir: bu çıkarım, Ferro 55 malzemesi optimum lazer gücünün 1,5 kW elde edilmesi ile örtüşmektedir.



Şekil 6. a) UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak yüksekliği S/N oranları, b) UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak yüksekliği S/N oranları

Tablo 9. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin kaynak yüksekliği için ANOVA analizi

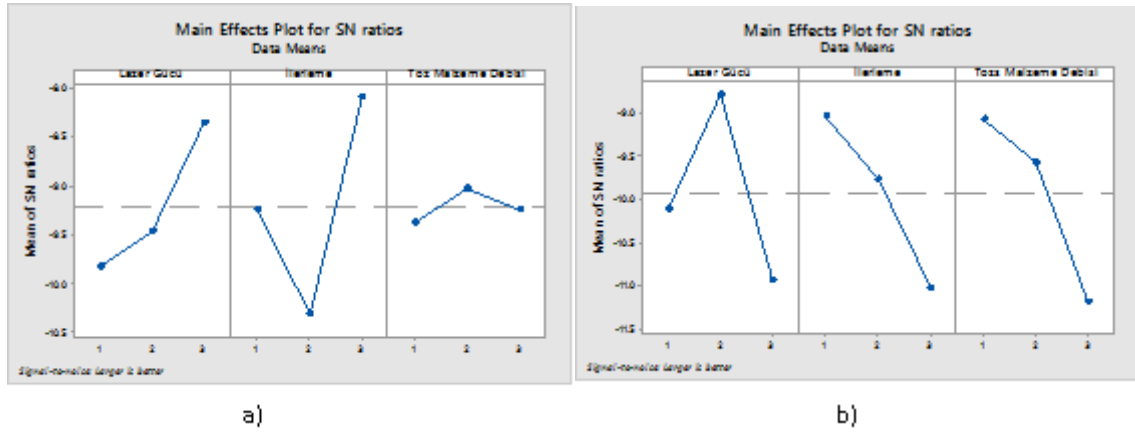
Parametre	Kareler Toplamı	Katkı Oranı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Lazer Gücü	0,01286	25,33%	0,00643	9,19	0,098
İlerleme Hızı	0,00986	19,42%	0,00493	7,05	0,124
Toz Debisi	0,02666	52,49%	0,01333	19,05	0,050
Error	0,00140	2,76%	0,00070		
Total	0,050800	100,00%			

Tablo 10. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak yüksekliği için ANOVA analizi

Parametre	Kareler Toplamı	Katkı Oranı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Lazer Gücü	0,00015	0,27%	0,00007	0,02	0,977
İlerleme Hızı	0,03235	56,61%	0,01617	4,99	0,167
Toz Debisi	0,01815	31,77%	0,00907	2,80	0,263
Error	0,00648	11,35%	0,00324		
Total	0,057156	100,00%			

3) *Kaynak Derinliği*: Kaynak derinliği Ferro 55 malzemesi Taguchi analiz sonuçlarına göre lazer gücü parametresinin yüksek seviye (1,7 kW) kullanımı ile ısı girdisinin arttığından dolgu kaynak derinliği artmaktadır. Yüksek seviye ilerleme hızında (11 mm/s) ve orta seviye toz debisi (13,5 g/dk) parametrelerinde kaynak derinliği artmaktadır (Şekil 7.a). ANOVA analizinde belirlenen parametrelerin etki oranları ilerleme hızı için %37,03, lazer gücü için %15,91, toz debisi için %0,82'dir (Tablo 11). Analizin hata oranı ise %46,24 elde edilmiştir ve doğruluk oranı diğer analizlere göre oldukça düşüktür. Bu durum sadece Ferro 55 malzemesi özelinde olup, bunun bu grup numunelerdeki kaynak sınır derinliği tespitindeki ölçüm hassasiyetinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

UTP 73G3 malzemesi için elde edilen optimum parametreler 1,5 kW lazer gücü, 9 mm/s ilerleme hızı, 12 g/dk toz debisidir. Lazer gücünün orta seviye, ilerleme hızı ve toz debisinin düşük seviye olması yüksek kaynak derinliği elde etmede yeterli olmuştur (Şekil 7.b). Çalışmada incelenen parametrelerin etki oranları ise birbirlerine oldukça yakındır: lazer gücü için %29,89, ilerleme hızı için %29,24, toz debisi için %27,96 elde edilmiştir (Tablo 12).



Şekil 7. a) UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak derinliği için S/N oranları, b) UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak derinliği için S/N oranları

Tablo 11. UTP PLASweld Ferro 55 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu kaynak derinliği için ANOVA analizi

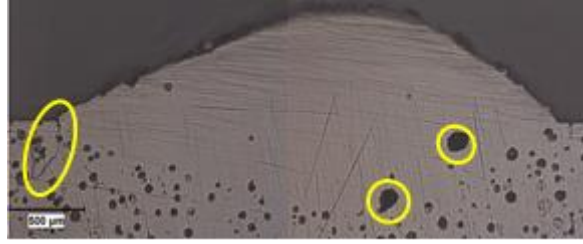
Parametre	Kareler Toplamı	Katkı Oranı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Lazer Gücü	0,00463	15,91%	0,00231	0,34	0,744
İlerleme Hızı	0,01078	37,03%	0,00539	0,80	0,555
Toz Debisi	0,00023	0,82%	0,00011	0,02	0,983
Error	0,013467	46,24%	0,00673		
Total	0,029124	100,00%			

Tablo 12. UTP PLASweld 73G3 tozuyla kaynak edilen numunelerin dolgu Kaynak derinliği için ANOVA analizi

Parametre	Kareler Toplamı	Katkı Oranı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Lazer Gücü	0,00999	29,89%	0,00499	2,32	0,302
İlerleme Hızı	0,00977	29,24%	0,00488	2,27	0,306
Toz Debisi	0,00934	27,96%	0,00467	2,17	0,316
Error	0,00431	12,91%	0,00215		
Total	0,03343	100,00%			

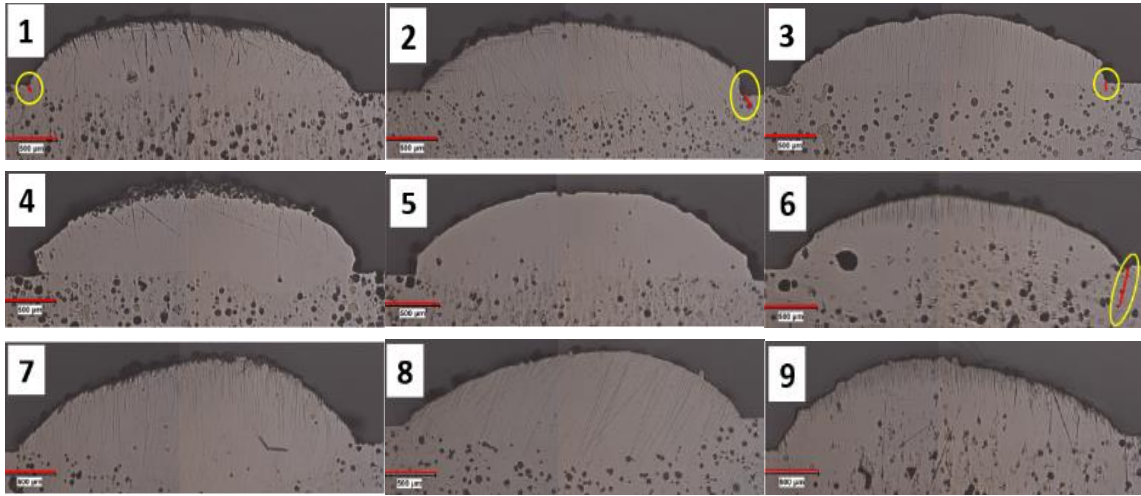
B. Gözenek ve Çatlak Oluşumları

Lazer dolgu kaynağı işleminde, çatlak ve gözenekler istenmeyen oluşumlardır (Şekil 8). Kaynak havuzundaki yüksek sıcaklık ile birlikte hızlı soğumaya bağlı olarak kalıntı gerilme kaynaklı, temel malzeme ile sınır bölgesinde çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. Enine kesit incelemelerinde tespit edilen çatlaklar kaynak havuzunun damla formuna yakın konumdadır.

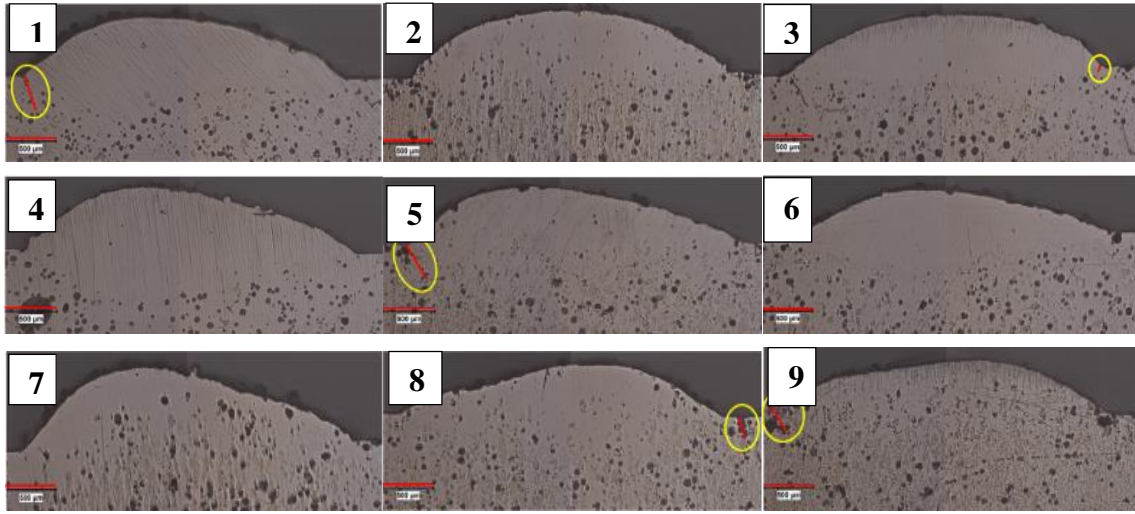


Şekil 8. Çatlak ve Gözenekler

Toz dolgu malzemesinin ergiyik havuza koruyucu gaz yardımıyla aktarılması sırasında gazlar hapsolarak gözenek oluşumuna neden olmaktadır. Yetersiz lazer gücü ve yüksek toz besleme hızı ergiyik havuz kesitinin küçülmesine, bazı toz partiküllerinin kısmen ergimesine ve koruyucu gazın hapsolmesine neden olmaktadır. Ayrıca büyük gözenekler çatlak oluşumu ve ilerlemesinde de etkilidir. Çatlak ve gözenek oluşumlarının azaltılması proses parametrelerinin kontrolü ile mümkündür. Ferro 55 ve UTP 73G3 toz malzemeleri için optik mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da bulunmaktadır.



Şekil 9. Ferro 55 toz malzemesi gözenek ve çatlak incelemeleri optik mikroskop görüntüleri



Şekil 10. UTP 73G3 toz malzemesi gözenek ve çatlak incelemeleri optik mikroskop görüntüleri

Numunelerdeki iri gözeneklerin yüzeyden oldukça uzakta temel malzemeye yakın olduğu gözlemlenmektedir. Metal ergiyik içerisinde hapsolan gazların, yüzeyden ayrılabilmesi için yeterli süreleri olmamıştır. Yüksek ısı girdisi dolayısıyla yavaş soğuma hızında olmalarına rağmen iri gaz boşluklarının gözenek oluşturması temel malzeme yüzeyinin temiz olmaması (kir, nem, yağ) ile ilişkilendirilebilir.

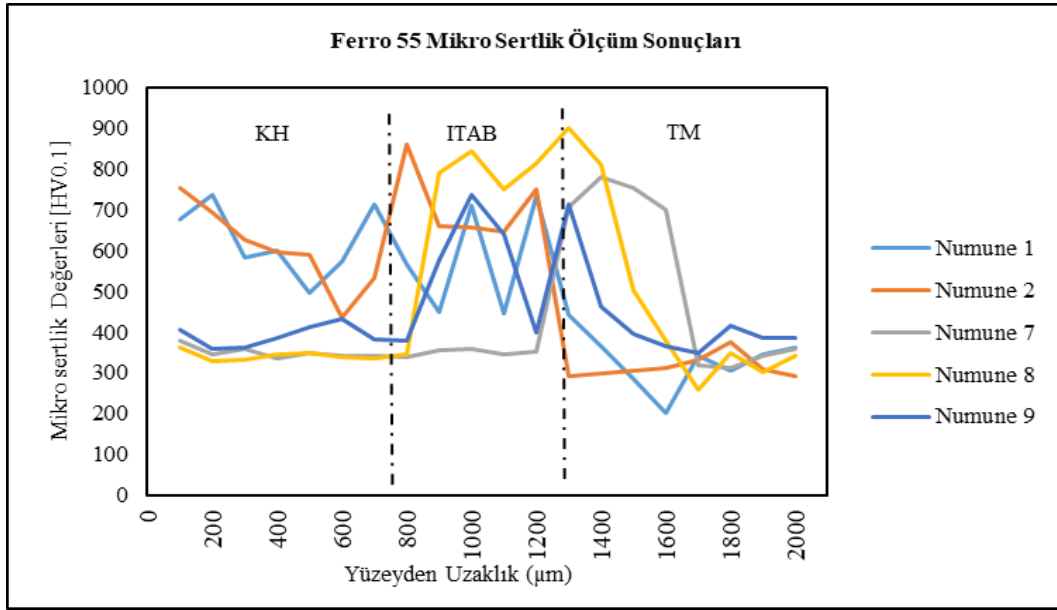
Ferro 55 için yüksek lazer gücü ve düşük ilerleme hızı (yüksek ısı girdisi) çatlak riskini azaltmaktadır; çatlak oluşumları toz debisi artışı ile azalmıştır, yüksek toz debisi dengeli soğuma koşulları yaratmıştır. Bu durum, çatlakların soğuk çatlak olma olasılığını artırmaktadır.

Lazer gücü ve ilerleme hızı artışı gözenek sayısını ve boyutlarını artırıcı rol oynamıştır. Toz debisi artışı ise gözenek oluşumu ve boyutlarını düşürmüştür. Ferro 55 malzemesinde gözenek oluşum riski UTP 73G3'e göre daha düşüktür. Yüksek lazer gücü, düşük ilerleme hızı, yüksek toz debisi genel dolgu kalitesini iyileştirmektedir.

UTP 73G3 için lazer gücü artışı ile çatlak oluşumları artmıştır. Isı girdisi artışı dolayısıyla çatlak oluşumu meydana geldiğinden sıcak çatlaklar olduğu yorumu yapılabilir, her iki toz malzemede çatlak oluşum mekanizmaları farklıdır. UTP 73G3 malzemesinde ilerleme hızının etkisi tespit edilememiştir. Toz debisi artışı ile çatlak oluşumları artmıştır. Çatlak oluşma riski Ferro 55'e göre daha düşüktür. Temel malzemenin ön ısıl işlemi ile çatlak oluşumunun azaltılması mümkündür [16]. Lazer gücü ve toz debisi artışı ile gözenek sayısı artmaktadır. Gözenek oluşumu Ferro 55 tozuna göre daha yüksektir. Lazer gücü ve ilerleme hızı artışı gözenek boyutunu artırmıştır, toz debisi artışı gözenek boyutlarını düşürmüştür. Yüksek ısı girdisi ile birlikte nispeten yavaş soğumaya istinaden gözenek sayısının artışı oldukça ilginç bir sonuçtur. UTP 73G3 malzemesinde yüksek lazer gücü, yüksek ilerleme hızı ve yüksek toz debisi genel dolgu kalitesini kötüleştirmektedir. Sonuç olarak genel dolgu kalitesi değerlendirildiğinde Ferro55 malzemesi UTP 73G3 malzemesine göre daha iyi konumdadır.

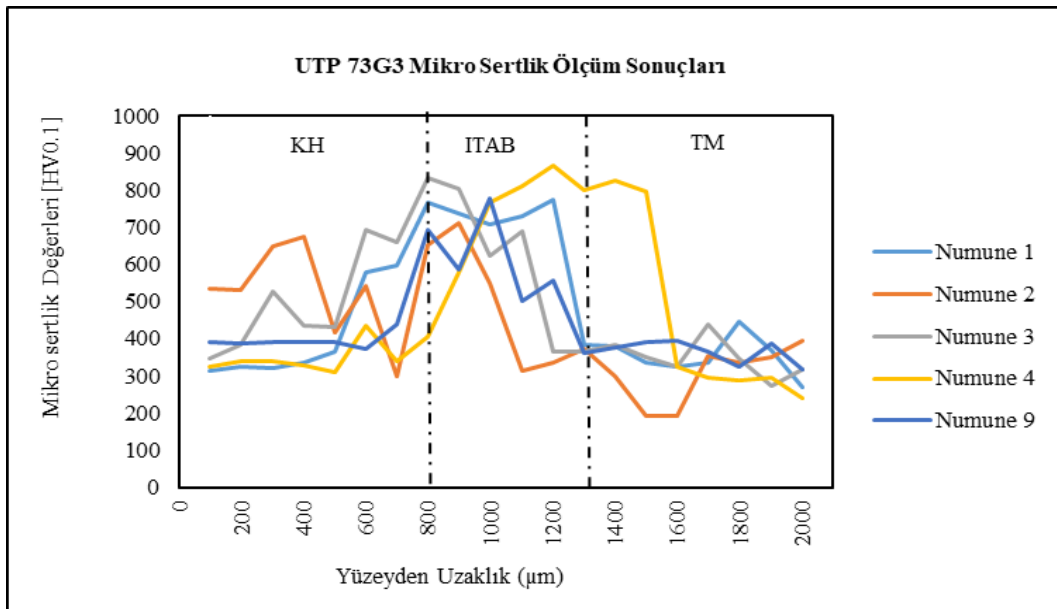
C. Mikrosertlik

Ferro 55 toz malzemesine ait "1, 2, 7, 8, 9" numaralı numuneler için mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 11). Kaynak havuzu ortalama sertlik değerleri sırasıyla 625,6 HV_{0,1}, 604,4 HV_{0,1}, 350,3 HV_{0,1}, 342,4 HV_{0,1} ve 389,4 HV_{0,1}; ITAB ortalama sertlik değerleri 558,2 HV_{0,1}, 714 HV_{0,1}, 735 HV_{0,1}, 773 HV_{0,1} ve 588,2 HV_{0,1}'dir. Kaynak parametrelerine bağlı olarak, mikro sertlik değerleri UTP 73G3 malzemesine kıyasla geniş bir aralıkta değişkenlik göstermiştir. Ayrıca, kaynak havuzunda elde edilen maksimum sertlik değeri (625,6 HV_{0,1}) diğer malzemeye kıyasla daha yüksektir. Lazer gücü artışı kaynak havuzu sertlik değerlerini azaltmıştır. İlerleme hızı ve toz debisinin kaynak havuzu sertlik değerleri üzerindeki etkisi sınırlı kalmıştır.



Şekil 11. Ferro 55 malzemesi “1, 2, 7, 8, 9” numaralı numuneler için mikro sertlik ölçüm sonuçları (KH:Kaynak Havuzu, ITAB: Isı Tesiri Altındaki Bölge, TM: Temel Malzeme)

UTP 73G3 toz malzemesi için mikro sertlik ölçümleri “1, 2, 3, 4, 9” numuneleri için gerçekleştirilmiştir (Şekil 12). Kaynak havuzu ortalama sertlik değerleri sırasıyla 405,1 HV_{0,1}, 521,3 HV_{0,1}, 424,6 HV_{0,1}, 352,8 HV_{0,1} ve 394,6 HV_{0,1}; ITAB ortalama sertlik değerleri sırasıyla 742,8 HV_{0,1}, 637,3 HV_{0,1}, 716,5 HV_{0,1}, 777,3 HV_{0,1} ve 621,8 HV_{0,1}'dir. Kaynak havuzu sertliği lazer gücü artışı ve toz debisi artışı ile düşerken, ilerleme hızı artışı ile artmaktadır. Yüksek lazer gücü ITAB sertlik değerini düşürmektedir; ilerleme hızının ve toz debisinin ITAB sertliği üzerindeki etkisi mevcut parametreler ile net olarak ortaya konulamamıştır.



Şekil 12. UTP 73G3 malzemesi “1, 2, 3, 4, 9” numaralı numuneler için mikro sertlik ölçüm sonuçları (KH:Kaynak Havuzu, ITAB: Isı Tesiri Altındaki Bölge, TM: Temel Malzeme)

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada küresel grafitli dökme demir temel malzeme üzerine Ferro 55 ve UTP 73G3 toz malzemelerinin lazer dolgu kaynağı incelenmiştir. Taguchi yöntemi kullanılarak proses parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiş; kaynak geometrisi, mikro sertlik, çatlak ve gözenek oluşumları açısından analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Ferro 55 malzemesi için yüksek lazer gücünde (1,7 kW) maksimum kaynak eni, kaynak yüksekliği ve kaynak derinliği değerleri elde edilmiştir. Yüksek seviye lazer gücü, ısı girdisinde artış sağladığından daha fazla ergime gerçekleşmekte ve kaynak geometrik uzunlukları artmaktadır. Optimum ilerleme hızı ve toz debisi değerleri ise kaynak geometrilerine göre değişkenlik göstermektedir.

UTP 73G3 toz malzemesi kaynak geometrisi açısından değerlendirildiğinde düşük ilerleme hızında (9 mm/s) optimum değerler elde edilmiştir. İlerleme hızının düşük seviye olması kaynak havuzunda ergiyen toz miktarını artırmakta, kaynak geometrileri genişlemektedir. Lazer gücü ve toz debisi optimum parametreleri kaynak eni, kaynak yüksekliği ve kaynak genişliği için değişkenlik göstermektedir.

Ferro 55 malzemesi için yüksek lazer gücü, düşük ilerleme hızı ve yüksek toz debisi çatlak riskini azaltmaktadır. UTP 73G3 için lazer gücü ve toz debisi artışı ile çatlak oluşumları artmıştır, ancak Ferro 55'e kıyasla daha düşüktür. Her iki malzemede çatlak oluşum mekanizmaları farklıdır: Ferro 55 malzemesinde soğuk çatlak oluşurken, UTP 73G'de ısı girdisi artışı ile birlikte gerçekleştiğinden sıcak çatlaktır.

Ferro 55 malzemesinde gözenek oluşum riski UTP 73G3'e göre daha düşüktür. Lazer gücü ve toz debisi artışı ile gözenek oluşumunu artırmakta, dolgu kaynağı kalitesini düşürmektedir. Numunelerdeki iri gözeneklerin yüzeyden oldukça uzakta temel malzemeye yakın olması yüzeyin temizliği ile ilişkilendirilebilir.

Ferro 55 toz malzemesinde elde edilen maksimum sertlik değeri 773 HV_{0,1} UTP 73G3 toz malzemesi için mikro sertlik ölçümleri 777,3 HV_{0,1} değerleri elde edilmiştir. Lazer gücü ve toz debisi artışı mikro sertlik değerlerini azaltırken, ilerleme hızı artışı mikro sertlik değerlerini artırmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Dindar, Ç., Altay, M. & Aydın, H. (2021) Lazer Kaplama Prosesi ve Proses Parametreleri: Derleme Çalışması. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 26 (2), 723–36.
- [2] Zhu, L., Xue, P., Lan, Q., Meng, G., Ren, Y., Yang, Z., Xu, P. & Liu, Z. (2021) Recent research and development status of laser cladding: A review. *Optics and Laser Technology*, 138,106915.
- [3] Siddiqui, A. A. & Dubey, A. K. (2021) Recent trends in laser cladding and surface alloying. *Optics and Laser Technology*, 134, 106619.
- [4] Budde, L., Biester, K., Merkel, P., Lammers, M., Kriwall, M., Hermsdorf, J., Stonis, M., Behrens, B. & Overmeyer, L. (2022) Investigation of the material combination 20MnCr5 and X45CrSi9-3 in the Tailored Forming of shafts with bearing seats. *Production Engineering*, 16 (1).
- [5] Arif Z. U., Khalid M. Y., Rehman E., Ullah, S., Atif, M & Tariq A. (2021). A review on laser cladding of high-entropy alloys, their recent trends and potential applications. *Journal of Manufacturing Processes*; 68, 225–73.
- [6] Meng, L., Zeng, X., Hou, K., Hu, Q. & Wang, D. (2019) Effect of laser cladding and laser-induction hybrid cladding coatings on the bending properties and fracture behavior of rails. *Surface & Coatings Technology*, 374, 1038-1050.
- [7] Bergant, Z., Batic, B. S., Felde, I., Sturm, R. & Sadlacek, M. (2022) Tribological Properties of Solid Solution Strengthened Laser Cladded NiCr B Si/WC-12Co Metal Matrix Composite Coatings. *Materials*, 15, 342.
- [8] Trojan, K., Ocelik, V., Capek, J., Cech, J., Yubero, D., Ganev, N., Kolarik, K. & Hosson, J. (2022). Microstructure and Mechanical Properties of Laser Additive Manufactured H13 Tool Steel. *Metals*, 12, 243.
- [9] Wang, W., Zhang, S., Xiao, S., Sato, Y. S., Wang, D. & Liu, Y. (2022). Microstructure and properties of multilayer WC-40Co coating on Ti-6Al-4V by electron beam cladding. *Materials Characterization*, 183, 111585.
- [10] Nie, M. H., Zhang, S., Wang, Z. Y., Zhang, C. H., Chen, H. T. & Chen, J. (2022). Effect of laser power on

- microstructure and interfacial bonding strength of laser cladding 17-4PH stainless steel coatings. *Materials Chemistry and Physics*, 275, 125236.
- [11] Ruiz, J. E., Cortina, M., Arrizubieta, J. I. & Lamikiz, A. (2018) Study of the Influence of Shielding Gases on Laser Metal Deposition of Inconel 718 Superalloy. *Materials*, 11, 1388.
- [12] Liu, Y., Ding, Y., Yang, L., Sun, R., Zhang, T. & Yang, X. (2021). Research and progress of laser cladding on engineering alloys: A review. *Journal of Manufacturing Processes*, 66, 341–63.
- [13] Ocylok, S., Weisheit, A. & Kelbasha, I. (2010) Functionally graded multi-layers by laser cladding for increased wear and corrosion protection. *Physics Procedia*, 5, 359-367.
- [14] Sun, W., Zhang, D., Chen, X., Wang, K., Zhang, J. & Jia, Y.(2022) Effect of the scanning speed of laser cladding on microstructure and mechanical properties of WC/Ni composite coatings.*Journal of Mechanical Science and Technology*, 36 (2), 679–687.
- [15] Xu, M., Zhou, C., Huang, X., Zhang, Z. & Wang, T. (2020) Multiobjective Optimization of 316L Laser Cladding Powder Using Gray Relational Analysis. *Journal f Materials Engineering and Performance*, 29, 7793–7806.
- [16] Ya, W. (2015). Laser Materials Interactions During Cladding Analysis on Clad Formation, Thermal Cycles, Residual Stress and Defects. 1st Editio. University of Twente.

Araştırma Makalesi - Research Article

Marmara Bölgesindeki Bir Konteyner Limanı İçin Fotovoltaik Enerji Sistem Kurulumunun Tekno-Ekonomik ve Çevresel Analizi

Techno-Economic and Environmental Analysis of a Photovoltaic Energy System Utilization for a Container Port in the Marmara Region in Turkey

Ali Rıza Dal^{1*}, Fatih Yılmaz²

Geliş / Received: 15/02/2022

Revize / Revised: 21/04/2022

Kabul / Accepted: 22/04/2022

ÖZ

Dünyada 1960'lı yıllardan itibaren gelişen konteyner gemileri ve konteyner limanlarının, ülkemizin dış ticaret, kabotaj ve transit yüklerinin taşınmasında önemli bir rolü bulunmaktadır. Özellikle Marmara Bölgesinde yer alan konteyner limanlarının ülkemizin toplam konteyner elleçleme kapasitesinde önemli bir payı vardır. Diğer taraftan, güneş enerjisinden faydalanarak elektrik üretimi, dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de yaygınlaşmakta olup konteyner limanlarında da bu teknolojiye azami ölçüde faydalanılması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı; Marmara (Kocaeli) Bölgesinde bulunan büyük ölçekli bir konteyner limanında fotovoltaik yenilenebilir enerji sistemi kurulumunun tekno-ekonomik ve çevresel analizini gerçekleştirmektir. Bu amaçla, büyük ölçekli bir konteyner limanı incelenmiş, yıllık elektrik ihtiyacı tespit edilmiş ve Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı yardımıyla uygun PV sistem gücü belirlenmiştir. Ayrıca, İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi Yöntemi kullanılarak PV sistemin ilk yatırım maliyeti ve geri ödeme süresi hesaplanmış ve RETScreen yazılımı yardımıyla PV sisteminin zararlı sera gazı salımını azaltmadaki rolü ve çevresel etkileri analiz edilmiştir. Çalışmada, konteyner limanındaki kapalı binaların çatılarına 962 kW_p gücünde PV sistem kurulabileceği ve PV sistemin bu güç ile yılda 1.061.034 kWh elektrik üretimi gerçekleştirebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Limana yapılacak PV sistem yatırımının geri ödeme süresi 8,33 yıl olarak belirlenmiştir. Söz konusu PV sistemin yılda 37,7 tCO₂/yıl sera gazı emisyonuna engel olacağı da tespit edilmiştir. PV sistemden üretilen elektrik ile limanın yıllık elektrik ihtiyacının %9,47'lik bir kısmı sağlanabilmektedir. Bu çalışmada, bir limana kurulacak PV sistemden en yüksek seviyede yararlanılmasına katkı sağlamak üzere bazı öneriler de sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler- Güneş Enerjisi, Elektrik Üretimi, Fotovoltaik Teknoloji, Konteyner Limanı

ABSTRACT

Container ships and ports, that have developed in the world since the 1960s, have important roles for the foreign trade of Turkey, as well as for the transportation of cabotage and transit cargoes. Container ports, especially in the Marmara Region, have an important share in the total container handling capacity of Turkey. On the other hand, solar-based electricity generation has become widespread in Turkey as well as in the world, and therefore this technology should be benefited as much as possible at the Turkish container ports. The aim of this study is to carry out a techno-economic and environmental analysis of a photovoltaic renewable energy system installation for a large-size container port in the Marmara (Kocaeli) Region. In accordance with this aim, a large-sized container

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ardal1969@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-3646-2288>)

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Hakkı Turaylıç Cad. No:5/C Emek, Çankaya-Ankara, Türkiye

²İletişim: yilmazf58@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-5652-0265>)

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Hakkı Turaylıç Cad. No:5/C Emek, Çankaya-Ankara, Türkiye

port has been investigated, and its annual electricity need has been detected, and the appropriate PV system power has been determined by using the Photovoltaic Geographical Information System software, respectively. Additionally, the initial investment cost and payback period of the PV system have been calculated by using the Reduced Payback Time Method, and the environmental effects of PV system to be installed regarding harmful greenhouse gas emissions have been analyzed by using RET Screen software. As a result of this study, it is found that a PV system with a power of 962 k W_p can be installed on the roofs of enclosed buildings in the container port and the PV system with this power can produce 1,061,034 kWh of electricity per a year. The payback period for the PV system investment to be made in the port is determined as 8.33 years. It also determined that the PV system to be installed can prevent 37.7 tCO₂/year greenhouse gas emissions per a year. With the electricity to be produced from the PV system, 9.47% of the annual electricity need of the port can be provided. In this study, some suggestions are also presented in order to contribute to the maximum utilization of the PV system of a sea port.

Keywords- *Solar Energy, Electricity Generation, Photovoltaic Technology, Container Port*

I. GİRİŞ

Dünya ticaretinin %85-90'ı ticaret gemileri ile yapılmakta olup yüklerin elleçlenmesi limanlarda gerçekleşmektedir. Dünya ticaretinin aksamadan devam edebilmesi açısından limanların stratejik önemi bulunmaktadır. Konteyner limanları, konteyner yükü taşıyan ticaret gemilerinin yükleme-boşaltma işlemlerinin yapıldığı tesislerdir. Bu limanlarda, kendi idari ve sosyal binalarının yanı sıra limanda kullanılan vinç, kreyn ve istifleyici kreynler gibi ekipmanlarda da elektrik enerjisine sıklıkla ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla en önemli maliyet kalemlerinden biri elektrik enerjisi giderleridir. Konteyner limanlarında ihtiyaç duyulan elektrik, genellikle şehir şebekesinden ve nadiren sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) veyahut dizel yakıtı dayalı dizel jeneratörler ile karşılanmaktadır.

Ticari malların birim yük haline getirildiği bir dağıtım yöntemi olan konteyner ile taşımacılık, dünyada 1960'lı yıllardan itibaren gelişmeye başlamış [1] olup, günümüz deniz ticaretinde yaygınca kullanılan bir taşımacılık yöntemidir. Konteyner taşımacılığının gelişmesiyle beraber, konteyner limanlarının önemi de artmış, lojistik tedarik zincirlerinin entegrasyon ihtiyacı nedeniyle deniz, hava, demir ve karayolunu kapsayan "intermodal taşımacılık" sistemleri gelişmiştir [2]. Konteyner ile taşımacılık, parça yüklerin birleştirilmesini, yükün parça parça işlem görmesi yerine toplu olarak yüklenmesi ve boşaltılmasını mümkün hale getirmekte ve dolayısıyla depolama masrafları, sigorta giderleri gibi maliyetlerde azalma sağlamaktadır [3]. Avantajları nedeniyle, günümüz dünya ve Türk deniz ticaretinde konteyner taşımacılığının önemli bir yeri bulunmaktadır.

Tablo 1'de, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB) Denizcilik Genel Müdürlüğü (DGM)'nün web sitesinde kamuya açık olarak yayınlanan liman başkanlıkları bazında ülkemizde elleçlenen konteyner miktarları yer almaktadır.

Tablo 1. 2020 yılında liman başkanları bazında Türk limanlarında gerçekleştirilen toplam konteyner elleçleme miktarları [12]

Liman başkanlığı bölgesi	Dış ticaret			Kabotaj	Transit	Toplam konteyner elleçleme (TEU)
	Türk bayraklı	Yabancı bayraklı	Dış ticaret			
Ambarlı	316.006	1.653.072	1.969.078	152.806	765.923	2.887.807
Mersin	122.822	1.743.754	1.866.576	40.283	41.836	1.948.695
Kocaeli	133.699	1.513.805	1.647.504	66.555	86.584	1.800.642
Tekirdağ	26.268	343.516	369.784	182.509	891.742	1.444.035
Aliğa	41.632	1.208.503	1.250.134	19.707	5.680	1.275.521
Gemlik	86.934	631.908	718.842	123.033	1.245	843.119
İskenderun	8.399	691.822	700.221	6.775	3.591	710.587
İzmir	52.249	355.552	407.802	28.584	0	436.385
Antalya	9.301	55.390	64.691	44.717	0	109.408
Samsun	22.528	52.263	74.791	31.491	0	106.282
İstanbul	1.040	27.435	28.475	13.111	0	41.586
Bandırma	212	10	222	12.965	0	13.187
Trabzon	0	495	495	5.206	0	5.701
Marmara Adası	0	0	0	2.214	0	2.214
Karabiga	0	0	0	1.399	0	1.399
Karasu	0	65	65	0	0	65
Karadeniz Ereğli	0	18	18	0	0	18
Toplam	821.090	8.277.608	9.098.697	731.352	1.796.601	11.626.650

Tablo 1’de görüldüğü üzere, 2020 yılında Türkiye’deki konteyner limanlarında dış ticaret, kabotaj ve transit amaçlı 11,63 milyon konteyner elleçlemesinin büyük bir bölümü ülkemizin Marmara Bölgesinde yer alan konteyner limanlarında gerçekleştirilmiştir. Örneğin; 2020 yılında 1,8 milyon konteynerin elleçlendiği Kocaeli Bölgesindeki konteyner limanları, Türkiye genelinde %15,5’lik paya sahip olup, Türk dış ticareti açısından önemli bir yere sahiptirler. Bu nedenle, bu çalışmada Kocaeli’ndeki bir konteyner limanı ele alınmıştır.

Son yıllarda dünyada olduğu gibi ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaşmaktadır. 2018 yılında güneş enerjisinden elektrik üretimindeki artış bir önceki yıla göre dünya genelinde %28,9 iken, bu oran ülkemizde %170’tir [4, 5]. Diğer taraftan, ülkemizde güneş enerjisinden elektrik üretimindeki artış dünyaya göre 5,9 kat daha fazla gerçekleşmiştir. Ülkemizde 2019 yılında güneş enerjisine dayalı toplam elektrik üretimi 303,9 milyar kWh olup, bunun 9,3 milyar kWh’i güneş enerji santrallerinde gerçekleşmiştir [4].

Fosil yakıtlardan elektrik üretimi esnasında açığa çıkan zararlı sera gazlarının neden olduğu hava kirliliğini asgari düzeye indirmek için elektrik üretiminde alternatif/yenilenebilir enerji kaynaklarına ve çevre dostu teknolojilere yönelim de her geçen gün artmaktadır. Artan enerji ihtiyacı ve teknolojik gelişmeler, günümüzde güneş enerjisini diğer yenilenebilir/alternatif enerji kaynaklarına göre biraz daha ön plana çıkarmaktadır. Güneş enerjisinin etkin kullanımı, ülkemiz ekonomisi açısından da önem arz etmektedir.

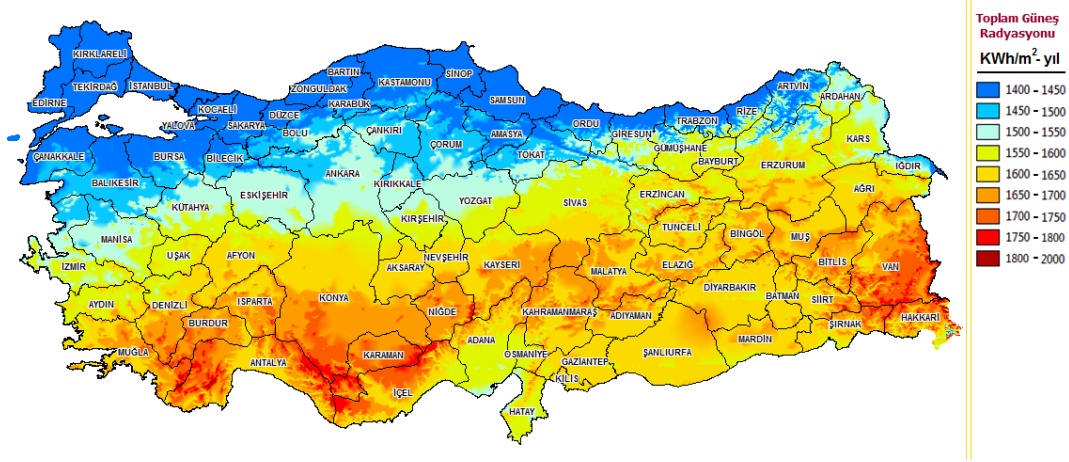
Varınca ve Gönüllü tarafından yapılan çalışmada; güneş enerjisinin, üretim teknolojileri açısından yakıt ve işletme gideri bulunmayan bir enerji kaynağı olduğu ve güneş enerjisinden elektrik üretimine uzun vadeli finansmanı sağlandığı takdirde ülkemizdeki enerji darboğazının aşılabileceği belirtilmiştir [6].

A. Marmara Bölgesinin Güneş Enerji Potansiyeli

Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli açısından dünyada ön sıralarda yer almaktadır. Karadeniz Bölgesi haricindeki tüm bölgelerin Fotovoltaik (PV)sistem kurulumu bakımından yatırım yapılabilir nitelikte olduğu

belirtilmektedir [6,7]. Bir bölgenin güneş enerji potansiyelinin belirlenmesinde, güneş ışınımı ve güneşlenme süresi en önemli etkindir.

Şekil 1’de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca (ETKB) hazırlanan Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA) yer almakta olup, buna göre Karadeniz ve Marmara Bölgelerinin güneş enerjisi potansiyelinin 1400-1450 kWh/ m² arasında olduğu görülmektedir [8]. Yıllık güneş ışınımı 1050-1300 kWh/ m² [9] civarında olan Almanya gibi bazı ülkelerin dahi güneş enerji potansiyelinin düşük olmasına rağmen PV sistem kurulu güçlerinin oldukça yüksek olduğu da bilinmektedir [10]. Öyle ki; 2020 yılı verilerine göre, Almanya’nın 53.783 MW olan PV sistem kurulu gücünün ülkemizinkinden (6,668 MW) 8 kat daha fazla olduğu görülmektedir [11]. Bu durum, ülkemizde en az güneş ışınımı alan Karadeniz ve Marmara Bölgelerinin bile PV sistemler ile elektrik üretimi açısından daha etkin değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 1. Türkiye'nin güneş ışınımı dağılımı [8]

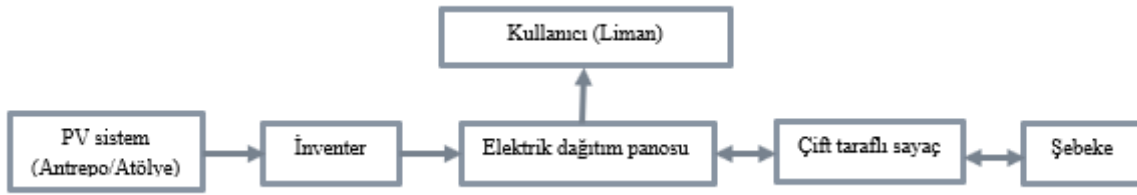
Dünyada ve ülkemizde bina çatılarında güneş enerjisinden elektrik üretimine yönelik çok sayıda sayısal ve deneysel çalışmalar [13-21] yapılmıştır. Dondariya ve arkadaşları tarafından Hindistan’da yapılan bir çalışmada; şebekeye bağlı çatı üstü PV sistemin fizibilitesini incelenmiş olup 20 adet 320 W_p nominal güçteki mono-kristal silikon sistem ile yılda 1528.125 kWh / yıl enerji üretilerek, mevcut elektrik ihtiyacının yaklaşık %41’inden fazlasının karşılanabildiği gösterilmiştir [22]. Akkaya ve Akkaya Oy tarafından Samsun, Bayburt ve Mersin’de şebekeye bağlı sırasıyla 3 kW, 5 kW ve 10 kW kurulu gücünde çatı tipi PV sistemler, PVGIS, HOMER ve PVsyst yazılımları ile modellenmiş olup çatı tipi GES modellerlerinin aylık tüketimlerini karşılayacak büyüklükte olması ve birim maliyeti düşük olan üretim tesisi kurulmasının ilk yatırımın geri dönüş süresi açısından avantajlı olacağı belirtilmiştir [23]. Dünyada limanların yenilenebilir enerjiye geçişine yönelik gönüllük esaslı yeşil liman (green port) kavramının ötesinde, uygulanan herhangi bir uluslararası düzenleme bulunmamaktadır. Dünya çapında bazı ülkeler kendi yeşil liman uygulamalarını başlattılar [24-26]. Limanlarda yenilenebilir enerji uygulamaları bir işletmenin enerji ihtiyacının şebekeden temininden daha ucuzdur. Ayrıca, limanlarda enerji yönetimi ve uygulama mevzuatları ile işletmelerin enerji verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır [25, 27]. Singapur denizcilik idaresi çevre dostu denizciliği teşvik etmek amacıyla 2011 yılında yeşil gemi, yeşil liman ve yeşil teknoloji programlarında güneş enerjisinden yararlanılmaktadır [28]. İspanya limanlarının %46’sı son beş yılda yenilenebilir kaynaklar ile elektrik üretimi yapmaya başlamıştır. Söz konusu limanlardaki yenilenebilir kaynaklar içerisindeki güneş enerjisi payı %13’e ulaşmıştır [29]. Nikishin ve Kharitonov tarafından Kaliningrad balıkçı limanında yapılan çalışmada, limanın elektrik tüketiminin bir kısmının rüzgâr türbini ve güneş panelleri ile karşılanabileceğini göstermişlerdir [30]. Misra ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, doğru akımın (DC) mikro şebekeler için bir çözüm olduğu belirtilerek, limanların güneş, rüzgâr gibi daha az sera gazı (GHG) üretmeleri açısından işletme maliyetlerini düşürdüğü ve esneklik sağladığı belirtilmiştir [31]. Elnejjar ve arkadaşları tarafından Jabel Ali Limanı’nın yeşil liman konsepti ile ilgili deneysel ve sayısal yazılım kullanılarak yapılan çalışmada bölgedeki rüzgâr ve güneş potansiyelini değerlendirmişlerdir. Söz konusu çalışmada, şebekeye PV sistem entegre edildiğinde enerji maliyetinde %10,5’lik bir azalmanın, şebekeye rüzgâr santrali entegre edildiğinde enerji maliyetinde %20,8 azalma, şebekeye hem rüzgâr santrali hem de PV sistemi entegre edildiğinde ise enerji maliyetinde %28,7 maliyet azalması olduğu tespit edilmiştir [32]. Güney Afrika’da Port Elizabeth limanında şebekeye entegre edilen 3,2 kW_p’lik bir PV sistemin deneysel ve sayısal çalışma karşılaştırılmıştır. Çalışmada, PV sistemin performans oranı %84 gerçekleşmiş olup şebekeye 5757 kWh/yıl elektrik enerjisi verildiği

belirtmiştir [33]. Güneş enerjisinden elektrik üretiminde ilk yatırım maliyetinin geri ödeme süresinin 5 yıl civarına düştüğü ifade edilmektedir [34]. Sulukan tarafından İstanbul'da 600 kW_p kurulu güç kapasitedeki çatı üstü PV sistem uygulama çalışmasında; yıllık 310.1 tCO₂ sera gazı salımının azalacağı ve yaklaşık 721,1 ton ham petrolün kullanımından tasarruf edileceği, belirtilmiştir [35].

B. PV Sistemler

Yarı iletken malzemeden üretilen PV paneller, güneş ışınlarını elektrik enerjisi üreten bir teknolojidir [36]. Enerjinin bir şekli olan ışık; PV hücrelerinde elektronları harekete geçirerek enerjiyi ortaya çıkarmaktadır. Bu enerji ise elektronların elektrik akımı oluşturabilecekleri kadar voltajı üretir [37].

PV sistemlerin verimli olarak çalışabilmesi, PV panel eğimi azimut açısı, panel malzemesi, ortam sıcaklığı, ortam tozu ve temizlik gibi parametrelere bağlıdır. Ayrıca bu sistemler, depolamalı ve şebeke bağlantılı olmak üzere iki çeşittir. Depolamalı sistemler, güneş panelinden üretilen elektriğin akülerde depolayarak ihtiyaç halinde yeniden kullanıma alan sistemlerdir. Şebeke bağlantılı sistemler (on-grid) ise; elektrik gereksinimi PV sistem ile karşılanmakta iken, üretilen fazla elektrik enerjisi şebekeye verilmektedir. PV sistemin yeterli olmadığı durumlarda ise şebekeden yararlanılır. Şebeke bağlantılı PV sistemde üretilen enerjinin depolamasına ihtiyaç yoktur; sadece üretilen doğru akım invertörlerle doğru akım (DC) alternatif akıma (AC) dönüştürülmesi gerekir. [38]. Bu dönüşüm invertör tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada şebekeye bağlı sistem tercih edilmiş olup, Şekil 2'de bir PV sistem enerji akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 2. PV sistem enerji akış diyagramı

C. PV Sistemlerin Bina Çatılarında Kullanımı

Gelişen teknoloji ile PV sistemlerin binaların çatı ve dış yüzeylerine (kabuk) konumlandırılarak güneşten enerji üretmek mümkün olmaktadır. Kentsel alanlardaki mevcut veya yeni bir binanın çatısında uygun azimut ve eğim açısına sahip PV sistemin geliştirilmesi elektrik enerjisi üretmek için olası bir seçenektir. Şehir merkezlerindeki PV paneller binaların gölgesinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Maksimum seviyede güneş ışınımı elde etmek için binaların yüksekliği, planı, konumu ile panel azimut ve eğim açısı önemli parametrelerdendir [39]. Karaca ve Uçar tarafından yapılan çalışmada, bina çatılarına kurulan PV sistemlerin bina dış cephelerinde kurulan PV sistemlere göre daha fazla enerji üretildiği belirtilmiştir [40]. Rotterdam gibi dünyanın önemli deniz limanlarında da kapalı alanların çatılarına PV sistem kurulumu ile elektrik üretimi yapıldığı, bazı uygulamalarda deniz yüzeyine dahi PV sistem kurulabildiği görülmektedir [41,42].

Dünya Enerji Geçişlerine Bakış (2022) raporunda 2050 yılına kadar toplam elektrik ihtiyacının %90'ının yenilenebilir kaynaklardan, sağlanacağı öngörülmektedir [43]. Ülkemizde, "Paris Anlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulduğuna Dair Kanun" 7 Ekim 2021 tarihinde Resmî Gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bahse konu Anlaşma gereği ülkelerin iklim eylemlerine imzanları çerçevesinde katkı sunmaları öngörülmektedir. Türkiye'nin ulusal katkı beyanına göre, sera gazı emisyonlarını 2030 yılına kadar %21 varan artış oranından azaltım öngörülmüştür [44]. 2021 yılı dünya enerji kaynakları fiyatlarında rekor artışların yaşandığı bir enerji krizine sahne olmuştur. Covid-19 salgını nedeniyle enerji talebinde yaşanan tarihi düşüş sonrasında, enerji arzındaki hızlı artışın talebi karşılamaması nedeniyle krizin bu yılda devam edeceği tahmin edilmektedir [45]. Fosil yakıt fiyatlarının yüksek seyri ve iklim değişikliğindeki kötüleşme durumu temiz enerji kaynaklarına daha hızlı geçilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu itibarla, Ülkemizdeki limanlarda elleçleme ve taşıma işleminde fosil ve elektrikli araçlar kullanılmaktadır. Son yıllarda bu limanlarda verilen hizmetlerden ötürü bir limanın ihtiyacı olan elektrik enerjisinin yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden üretilmesi daha da önemli hale gelmiştir. Ülkemizde ise Samsun ve Tekirdağ'da bulunan iki limanda PV sistem ile elektrik enerjisi üretme çalışmalarına başlanıldığı bilinmektedir. Ancak bu çalışma kapsamında yapılan saha ve literatür incelemesinde, ülkemizde bulunan konteyner limanlarında güneş enerjisinden elektrik üretimi ile kullanımının henüz yeterli düzeyde olmadığı gibi yeterli bilimsel çalışma bulunmamakta olup, bu alanda daha fazla bilimsel çalışma

yapılmasına ihtiyaç olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile ülkemizin deniz ticaret faaliyetlerinde çok önemli bir yeri olan ve Marmara Bölgesinde yer alan bir konteyner limanının en önemli maliyet kalemlerinden biri olan elektrik ihtiyacının (en azından bir kısmının) güneş enerjisinden karşılanmasına yönelik liman antrepo ve atölye çatıları üzerine kurulacak PV sistemin tekno-ekonomik ve çevresel analizlerinin yapılması amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

Ülkemizin toplam konteyner elleçleme kapasitesinin %15,5'lik kısmına sahip olan Kocaeli Bölgesindeki büyük ölçekli bir konteyner limanı seçilmiştir. Seçilen konteyner limanının 2019 yılına ait yıllık elektrik tüketim miktarı Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 3'te ise konteyner limanında kullanılan ekipman ve kullanılan enerji türleri görülmektedir. Söz konusu limanda 11.201.143 kWh/yıl elektrik tüketilmektedir. Limanda, kapalı alanlarda (idari bina, depolar gibi) kullanılan elektriğin yanısıra, açık alanlarda raylı portal kreynerler, istifleyici kreynerler gibi elektrikli ekipmanlarda elektrik sıkça kullanılmaktadır.

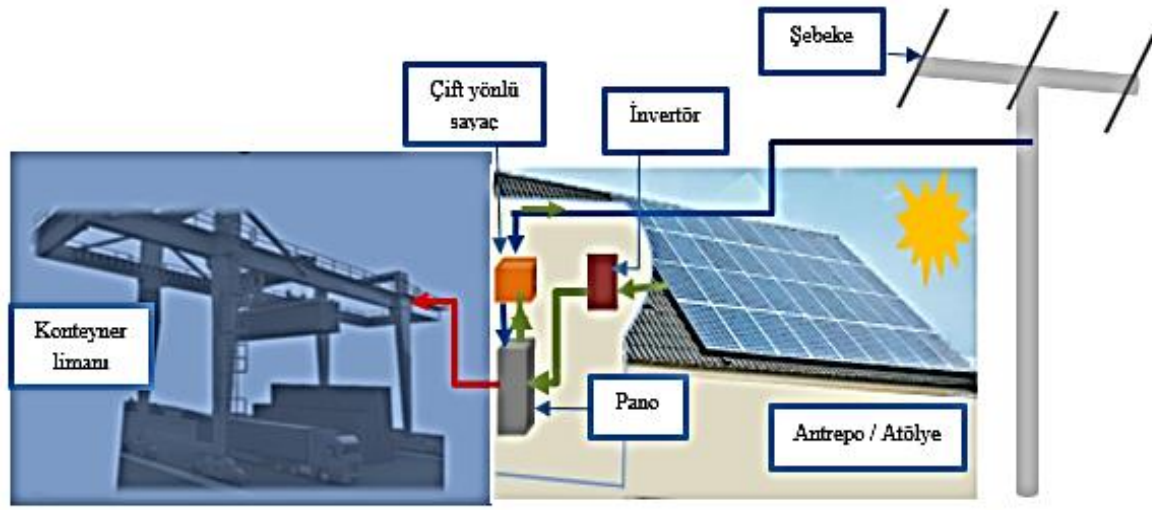
Tablo 2. Konteyner limanının 2019 yılı aylık elektrik tüketimi (kWh)

Aylar	Elektrik tüketimi
Ocak	981.221
Şubat	825.640
Mart	880.123
Nisan	840.917
Mayıs	842.076
Haziran	856.525
Temmuz	989.005
Ağustos	938.911
Eylül	991.696
Ekim	1.029.287
Kasım	1.028.169
Aralık	997.574
Toplam	11.201.143

Tablo 3. Konteyner limanında kullanılan ekipman ve yakıt türleri

Ekipman	Enerji kaynağı
Raylı portal krenler	Şehir şebekesi (Elektrik)
İstifleyici krenler	Şehir şebekesi (Elektrik)
Traktör/treyler ve kamyonlar	Fosil yakıt (Dizel)
Jeneratörler (10 MW)	Fosil yakıt (Dizel)
Reefer konteynerler (640 priz)	Şehir şebekesi (Elektrik)
Binalar/aydınlatma	Şehir şebekesi (Elektrik)

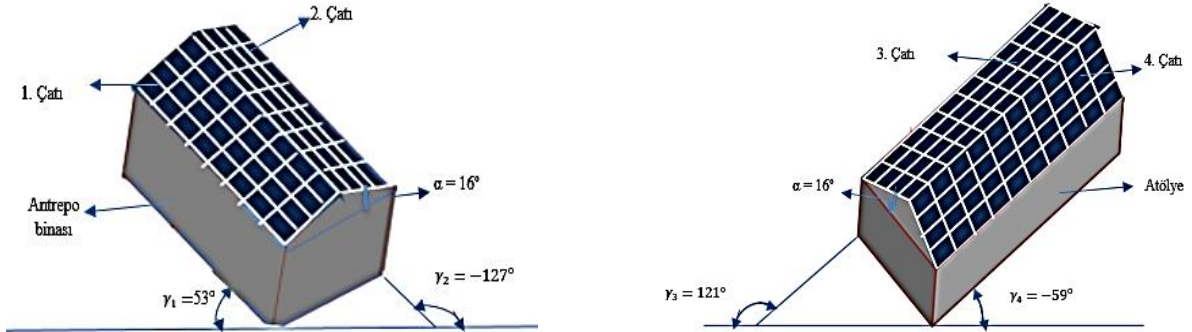
Şekil 3'te konteyner limanına kurulacak PV sistem, liman ve şebeke bağlantısı şeması gösterilmiştir.



Şekil 3. Konteyner limanı için öngörülen şebekeye bağlı PV sistemin genel enerji akış şeması

PV sistem kurulumunda teknik açıdan PV panellerin çatıların güney yönünde yani azimut açısının 0° olacak şekilde konumlandırılması tercih edilmektedir. Fakat binaların yönleri belediyelerce uygulanan imar planları ve yol kullanım amacı gibi durumlar nedeniyle genellikle güney yönde olmamaktadır. Çalışma kapsamında incelenen konteyner limanında bulunan antrepo ve atölye binasının konumlandırıldığı çatı eğimleri 16° olarak tespit edilmiştir. Antrepo çatısının toplam alanı $2 \times 2125 = 4250 \text{ m}^2$ ve atölye çatısının toplam alanı $2 \times 850 = 1700 \text{ m}^2$ dir.

Şekil 4'te görüldüğü üzere; antrepo ve atölye bina çatılarının güneşe göre farklı yönlerde yüzeylerinin bulunması hesaplamaların farklı azimut açılarına göre yapılmasını gerektirmiştir.



Şekil 4. Konteyner limanındaki antrepo ve atölye binalarının güneşe göre çatı yönleri

Bu nedenle dört farklı azimut açısı belirlenmiştir. Antrepo çatısındaki 2125 m^2 alan için 1. çatı $\gamma_1 = 53^\circ$, diğer 2125 m^2 alan için 2. çatı $\gamma_2 = -127^\circ$ olarak azimut açısı belirlenmiştir. Atölye çatısındaki 850 m^2 alan için 3. çatı $\gamma_3 = 121^\circ$, diğer 850 m^2 alan için 4. çatı $\gamma_4 = -59^\circ$ olarak azimut açısı belirlenmiştir. Antrepo ve atölye binalarının çatılarına kurulması öngörülen PV sistemin özellikleri ile sistemin kurulu gücü için gerekli olan panel ve invertör bilgileri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Konteyner limanında bulunan antrepo ve atölye çatılarına kurulması öngörülen PV sistem panel ve invertör teknik özellikleri

		Teknik özellikler
PV sistem	Sistem bağlantı şekli	Şebeke bağlantılı (On grid)
	PV sistem kurulu gücü	962 kW _p
	Panel eğim açısı	16°
Panel	Panel teknolojisi	Polikristal
	Panel gücü	275 W/panel
	Panel sayısı	1250x2 + 500x2 = 3500 adet
	Panel hücre sayısı	60 adet
	Panel hücre boyutu	156x156 mm
	Panel ölçüsü / Alan	1652*997*42 mm / 1,7 m ²
İnverter	İnverter sayısı	22
	İnverter gücü	40 kW

Tablo 4’deki panel verileri ile çatı alanlarının tamamı PV sistem kurulumu için kullanılacak olup, Eşitlik 1 ve 2 yardımıyla panel alanı dikkate alınarak, çatılara yerleşecek olan maksimum panel sayısı tespiti ve akabinde buna bağlı PV sistem kurulu gücü hesaplanmıştır.

$$A = A_p n \quad (1)$$

$$P = P_p n \quad (2)$$

Burada, Açatı alanı (m²), A_p panel alanı (m²), n panel sayısı, P toplam güç (W_p), P_p panel gücüdür (W_p). Eşitlik 1 ve 2 ile yapılan hesaplamalar neticesinde, antrepo çatısında 1. ve 2. çatı için 343 kW_p olmak üzere toplam 686 kW_p, atölye çatısında ise 3. ve 4. çatı için 138 kW_p olmak üzere toplam 276 kW_p güce sahip panellerin yerleştirilmesi mümkün olmaktadır. Konteyner limanının tamamına 962 kW_p güce sahip PV sistem kurulabileceği anlaşılmaktadır. PV sistem gücü ile üretilecek olan tahmini elektrik enerjisi miktarının belirlenmesi için Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS) simülasyon yazılımı ve sera gazı salımı için ise RETScreen simülasyon yazılımı kullanılmıştır.

A. PVGIS Simülasyon Yazılımı

Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak deneysel çalışmaların yanında simülasyon yazılımları da gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir. Bu simülasyon programlarından biri PVGIS yazılımıdır. Meteorolojik verileri kullanarak güneş ışınımından elde edilebilen enerjiyi hesaplamaktadır. PVGIS veri tabanı coğrafi konum ve panel eğim açısı değerine göre ortalama günlük, aylık ve yıllık ışınımını hesaplamaktadır. Ayrıca, PV sistemin kapasitesi, panel malzeme cinsi, sistem kayıp oranı, azimut açısı ve eğim açısı değerlerine göre üretilecek olan elektrik miktarı tahmin edilebilmektedir. PVGIS, ışınım ve panel sıcaklığına bağlı olarak Eşitlik 3, 4, 5 ve 6 ile hesaplama yapmaktadır [9,46].

$$P(G', T') = G' (P_{STC,m} + k_1 \ln(G') + k_2 \ln(G')^2 + k_3 T' + k_4 T' \ln(G') + k_5 T' \ln(G')^2 + k_6 T'^2) \quad (3)$$

$$G' \equiv G / G_{STC} \quad (4)$$

$$T' \equiv T_{mod} - T_{STC} \quad (5)$$

$$\eta_{rel}(G', T') \equiv \frac{P(G', T')}{P_{STC,m} G'} \quad (6)$$

Eşitlik 3’de belirtilen; $P(G, T)$ anlık panel gücü [W], $P_{STC,m}$ standart test koşullarındaki maksimum gücü [W] belirtmektedir. k_1 ’den k_6 ’ya kadar olan katsayılar Avrupa Güneş Test Kurumu (ESTI) tarafından ölçülen değerlerdir. Eşitlik 3 ve 4’de ise G güneş ışınımı [W/m^2] olup G' güneş ışınımının normalize edilmiş boyutsuz değeri, T_{mod} panel sıcaklığı [$^{\circ}C$] ve STC ise standart test koşullarında G ve T ’ye bağlı güç değerini içerir. η_{rel} , panel verimidir.

PVGIS veri tabanına çatının özellikleri de dikkate alınarak limanın bulunduğu yerin koordinatları ve Tablo 5’de belirtilen hususlar sisteme manuel olarak girilmiştir:

Tablo 5. Antrepo ve atölyede kullanılacak PV panel özellikleri ve yerleşim açıları

PV sistem	Teknik özellikleri
PV panel malzemesi	Kristal silikon
Sistem kaybı	%14
Antrepo PV sistem gücü	343 kW _p
Atölye PV sistem gücü	138 kW _p
PV panel eğim açısı	$\alpha = 16^{\circ}$
1. çatı azimut açısı	$\gamma_1 = 53^{\circ}$
2. çatı azimut açısı	$\gamma_2 = -127^{\circ}$
3. çatı azimut açısı	$\gamma_3 = 121^{\circ}$
4. çatı azimut açısı	$\gamma_4 = 59^{\circ}$
Atölye ve antrepo yüksekliği	15 m

Ayrıca, liman antrepo ve atölye çatıları 15 metre yüksekliğinde olması nedeniyle gölge oluşmamaktadır. Antrepo ve atölye çatılarının dört farklı yönde olması nedeniyle PVGIS yazılımında dört azimut seçilmiştir.

Çalışma kapsamında, öncelikle konteyner limanının 2019 yılına ait aylık elektrik tüketiminin aylara göre dağılımları incelenmiştir. Seçilen kurulu güç, eğim açısı, azimut açısı, sistem kaybı, kullanılan panel malzeme ve koordinata bağlı olarak konteyner limanın bulunduğu yerdeki atölye ve antrepo çatı pozisyonlarına göre üretilecek olan elektrik enerjisi [kWh] miktarları ayrı ayrı simüle edilmiştir.

B. RET Screen Simülasyon Yazılımı

Çalışma kapsamında incelenen konteyner limanına kurulması öngörülen PV sistemin çevresel etkisinin belirlenmesi ve sera gazı salım miktarı hesaplamalarında RETScreen simülasyon yazılımı kullanılmıştır. Söz konusu yazılım, RETScreen CANMET Enerji Çeşitlendirme Araştırma Laboratuvarı (CEDEL) tarafından geliştirilmiştir [47]. Enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve kojenerasyon proje fizibilite analizi ile enerji performans analizlerini yapmak için kullanılabilir. Bu çalışmada, söz konusu yazılımın sera gazı salımı profili senaryoları kullanılmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Çalışmada, her iki bina çatısının eğim açısı 16° olması panellerin çatıya konumlandırılma ve montajda kolaylık açısından aynı eğimde olacak şekilde planlanmıştır. PVGIS yazılımına antrepo için 53° , -127° ve atölyede 121° ve -59° olacak şekilde 16° eğim açısında, sistem kaybı %14 ve PV sistemi panel toplam gücü 343 ve 138 kW_p olarak ayrı ayrı girilmiştir.

Yapılan hesaplamalarda piyasada yaygın kullanılan kristal silikon hücre PV panel teknolojisi seçilerek, güneş ışınımı ve PV sistemi panel gücü değerleri dört azimut açısının dört farklı çatı yönüne göre PVGIS yardımıyla hesaplanmıştır. PVGIS’te yapılan simülasyonda; PVGIS yazılımında dört farklı çatı için dört farklı yıllık güneş ışınımı miktarı tespit edilmiştir. Yıllık güneş ışınımı miktarları; 1. çatıda 1543 kWh/m^2 , 2. çatıda 1318 kWh/m^2 , 3. çatıda 1355 kWh/m^2 ve 4. çatıda 1508 kWh/m^2 olarak hesaplanmıştır.

A. PV Sistem ile Üretilmesi Öngörülen Aylık Elektrik Miktarı

PVGIS simülasyonunda, antrepolarda iki adet 343 kW_p güç kapasiteli PV sistem ile iki farklı çatı durumu ile atölyede iki adet 138 kW_p güç kapasiteli PV sistem ile iki farklı çatıdaki üretilmesi öngörülen elektrik miktarları Tablo 6’te, üretimin tüketimi karşılama oranları ise Tablo 7’da sunulmuştur.

Tablo 6. PV sistemde (dört çatıda) üretilen elektrik miktarı (kWh)

Aylar	Konteyner limanı elektrik tüketimi	343 kW _p güçteki elektrik üretimi		138 kW _p güçteki elektrik üretimi		Toplam üretim
		1. çatı	2. çatı	3. çatı	4. çatı	
Ocak	981.221	15.705	9.824	4.109	6.158	35.796
Şubat	825.640	18.462	13.409	5.557	7.266	44.694
Mart	880.123	29.423	24.056	9.917	11.608	75.004
Nisan	840.917	39.302	34.561	14.277	15.461	103.601
Mayıs	842.076	49.302	45.533	18.826	19.379	133.040
Haziran	856.525	52.330	49.693	20.466	20.677	143.166
Temmuz	989.005	56.942	52.583	21.959	22.218	153.702
Ağustos	938.911	52.099	45.331	19.114	20.157	136.701
Eylül	991.696	37.722	31.261	12.825	14.944	96.752
Ekim	1.029.287	24.820	18.935	7.748	9.861	61.364
Kasım	1.028.169	19.179	12.059	5.078	7.482	43.798
Aralık	997.574	15.145	8.685	3.694	5.892	33.416
Toplam	11.201.143	410.431	345.930	143.570	161.103	1.061.034

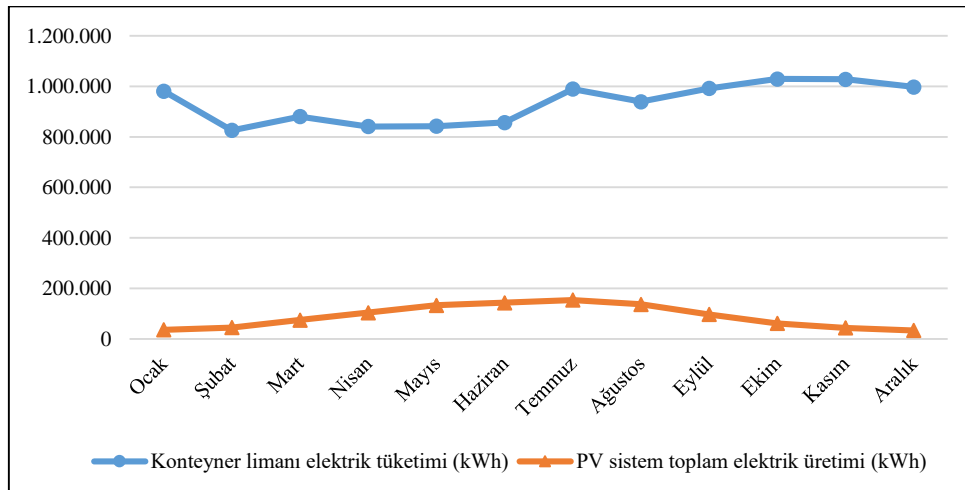
Tablo 6’teki değerler incelendiğinde; PV sistemi kapsamında en yüksek miktarda elektrik üretiminin (410.431 kWh/yıl), azimut açısının 53° olduğu 1. çatıda gerçekleşebildiği görülmektedir. Azimut açısının -127° olduğu 2. çatıda ise yıllık 345.930 kWh elektrik üretimi mümkün olabilecektir. Azimut açısının 121° olduğu 3. çatıda üretilebilecek yıllık elektrik miktarı 143.570 kWh iken, azimut açısının -59° olduğu 4. Çatıda ise yıllık 161.103 kWh elektrik üretimi sağlanabilecektir. Sonuç itibarıyla; bu çalışma kapsamında incelenen konteyner limanına kurulması öngörülen PV sistemi sayesinde güneş enerjisine dayalı olarak yıllık toplam 1.061.034 kWh/yıl elektrik üretiminin mümkün olabileceği anlaşılmaktadır. PV sistem ile en fazla elektrik üretimi temmuz ayında, en düşük elektrik üretimi ise aralık ayında olmaktadır.

Tablo 7. PV sistemin (dört çatının) üretimi karşılama oranı (%)

Aylar	343 kW _p güçteki elektrik üretimi		138 kW _p güçteki elektrik üretimi		PV ile elektrik üretiminin, limanın elektrik tüketimini karşılama oranı
	1. çatının karşılama oranı	2. çatının karşılama oranı	3. çatının karşılama oranı	4. çatının karşılama oranı	
Ocak	1,60	1,00	0,42	0,63	3,65
Şubat	2,24	1,62	0,67	0,88	5,41
Mart	3,34	2,73	1,13	1,32	8,52
Nisan	4,67	4,11	1,70	1,84	12,32
Mayıs	5,85	5,41	2,24	2,30	15,80
Haziran	6,11	5,80	2,39	2,41	16,71
Temmuz	5,76	5,32	2,22	2,25	15,54
Ağustos	5,55	4,83	2,04	2,15	14,56
Eylül	3,80	3,15	1,29	1,51	9,76
Ekim	2,41	1,84	0,75	0,96	5,96
Kasım	1,87	1,17	0,49	0,73	4,26
Aralık	1,52	0,87	0,37	0,59	3,35
Toplam	3,66	3,09	1,28	1,44	9,47

Ayrıca, limanın elektrik tüketim miktarı ile PV sisteminde üretilmesi öngörülen elektriğin tüketimi karşılama oranı aylık bazda farklılık arz etmektedir. Tablo 7’de görüldüğü üzere, PV sistemle üretilen elektrik 1. çatı durumunda tüketimin %3,66’lık kısmını, 2. çatı durumunda tüketimin %3,09’luk kısmını, 3. çatı durumunda tüketimin %1,28’lik kısmını, 4. çatı durumunda tüketimin %1,44’lük kısmını karşılayabilmektedir. Toplamda ise PV sistemden üretilen elektrik ile konteyner limanının yıllık elektrik ihtiyacının %9,47’lik kısmının karşılanması mümkün olabilmektedir. PV sistemde üretilen elektriğin en fazla temmuz ayında olmasına karşın, üretimin tüketimi karşılama oranı en yüksek haziran ayında gerçekleşmektedir.

Şekil 6’da konteyner limanının elektrik tüketimi ile PV sistemle elektrik üretiminin ilişkisi görülmektedir.



Şekil 5. Konteyner limanı elektrik tüketimi ile PV sistemin elektrik üretimi ilişkisi

Tablo 6 ve Şekil 5’te görüldüğü gibi, konteyner limanındaki aylık elektrik tüketimi 825.640 ile 1.029.287 kWh arasında değişmektedir. PV sistem ile üretilmesi öngörülen aylık elektrik miktarı ise 33.416 kWh ile 153.702 kWh seviyesindedir.

B. PV Sistemin İlk Yatırım Maliyeti ve Geri Ödeme Süresi

PV sistemlerin maliyet kalemleri arasında sistemin kurulacağı arazi ve trafo merkezinin durumunun da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Konteyner limanında bulunan antrepo çatısı, güneş panellerinin dizinimi ve PV sistem kurulumu açısından uygundur. PV sisteminin kullanılması öngörülen çatı alanı, liman işletmesinin kendi kullanımına aittir. Ayrıca, limanın kendi tasarrufunda olan trafo merkezi de mevcuttur. Bu nedenle, PV sistemi için arazi ve trafo giderleri bulunmayıp hesaplamalara dâhil edilmemiştir.

PV sistemde ilk yatırım maliyetinin hesaplanması piyasa araştırması yapılarak belirlenmiştir. Antrepo ve atölye çatısına kurulacak olan 962 kW_p kurulu güçteki PV sistemde kullanılacak ekipmanların ilk yatırım maliyeti ayrı ayrı yapılmıştır. Kurulması planlanan 962 kW_p kurulu güce sahip PV sistem için gerekli olan PV paneli, malzeme ekipmanları ile mühendislik hizmetleri ve süreç yönetimine ilişkin maliyet kalemleri ayrıntılı olarak Tablo 8’de ve Tablo 9’da ayrı ayrı verilmiştir.

Antreponun her bir çatı için kurulması öngörülen 343 kW_p kurulu güce sahip PV sistemin ilk yatırım maliyeti 1.958.800 TL olarak, atölyenin her bir çatıya için kurulması öngörülen 138 kW_p kurulu güce sahip PV sistemin ilk yatırım maliyeti ise 761.100 TL olarak hesaplanmıştır.

Sonuç itibarıyla; konteyner limanındaki antrepo ve atölye çatılarına kurulması öngörülen dört çatıdaki PV sistemin toplam ilk yatırım maliyeti 5.439.800 (2x761.100 + 2x1958.800) TL olarak belirlenmiştir.

Tablo 8. 343 kW_p PV sistem için panel ve ekipman maliyet hesabı

Malzeme adı	Adet	Birim fiyat (TL)	Toplam fiyat (TL)
PV sistem paneli (polikristal 275 W _p)	1.250	660	825.000
İnvertör (40 kW)	8	55.000	440.000
Taşıyıcı sistem (Alüminyum-set)	1.250	60	75.000
Kablo, tava, pano vb. diğer malzeme ve kurulum	1	300.000	300.000
Mühendislik hizmetleri süreç yönetimi	1	20.000	20.000
Toplam (KDV hariç)			1.660.000
Toplam gider (%18 KDV dahil)			1.958.800

Tablo 9. 138 kW_p PV sistem için panel ve ekipman maliyet hesabı

Malzeme adı	Adet	Birim fiyat (TL)	Toplam fiyat (TL)
PV sistem paneli (polikristal 275 W _p)	500	660	330.000
İnvertör (40 kW)	3	55.000	165.000
Taşıyıcı sistem (Alüminyum-set)	500	60	30.000
Kablo, tava, pano vb. diğer malzeme ve kurulum	1	100.000	100.000
Mühendislik hizmetleri süreç yönetimi	1	20.000	20.000
Toplam KDV hariç)			645.000
Toplam gider (%18 KDV dahil)			761.100

PV sistemin faaliyete geçmesini müteakip, konteyner limanı yıl içerisinde ihtiyaç duyduğu elektriğin 1.061.034 kWh’lik kısmını kendisi üretebilecektir. Geri kalan kısmın ise şebekeden tedarik edilmesi gerekecektir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK)’nun belirlemiş olduğu elektrik fiyat tarifesine göre elektrik birim fiyatı 1,007573 TL/kWh olarak alınmıştır [48].

Tablo 10’da konteyner limanına PV sistem kurulması durumunda güneş enerjisine dayalı olarak üretilen elektrik ile sağlanabilecek tasarruf miktarları yer almaktadır.

Tablo 10’da görüldüğü gibi, halihazırda konteyner limanının yıllık elektrik ihtiyacı 11.201.143 kWh/yıl mevcut durumda şebekeden sağlanmakta olup bunun için yılda yaklaşık 11.285.970 TL ödenmektedir. PV sistem

kurulması halinde ise güneş enerjisine dayalı olarak üretilecek olan 1.061.034 kWh/yıl elektriği doğrudan kendisi kullanabileceği için bu sayede elektrik faturasından yılda yaklaşık 1.069.069 TL tasarruf sağlayabilecektir.

Tablo 10. Güneş enerjine dayalı elektrik üretimi ve tasarruf miktarları

	Yıllık enerji üretimi ve tasarrufu (kWh/yıl)	Birim fiyat (TL/kWh) (KDV Dahil)	Yıllık üretim/tüketim bedeli (TL/yıl)
PV sistem kurulmadan önceki tüketim	11.201.143	1,007573	11.285.970
1. çatıdaki üretim	410.431	1,007573	413.539
2. çatıdaki üretim	345.930	1,007573	348.550
3. çatıdaki üretim	143.570	1,007573	144.657
4. çatıdaki üretim	161.103	1,007573	162.323
Yıllık toplam tasarruf	1.061.034		1.069.069

Yatırım projelerinde işletmeler tarafından yapılacak yatırım kararını; yatırımın tutarı ile geri ödeme süresi belirlemektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen konteyner limanına kurulması öngörülen PV sistem yatırımının geri ödeme süresinin belirlenmesinde İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi Yöntemi uygulanmış olup Eşitlik 7'ye göre hesaplanmıştır [49]:

$$\sum_{t=0}^{m-1} \frac{I_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=m}^n \frac{A_t}{(1+i)^t} \quad (7)$$

Eşitlik 7'de; geri ödeme süresi işletme dönemindeki yıl sayısı olarak tanımlanmaktadır. Burada; m yatırım kuruluş süresini, n yatırım kuruluş süresi ile ekonomik ömür süresi toplamını, I_t , t yılda katlanılan yatırımın maliyetini, A_t , t yılda ortaya çıkan net nakit akışını, i ise iskonto oranını ifade etmektedir.

Konteyner limanına kurulması öngörülen PV sistem yatırımına yönelik olarak İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi Yöntemi ile yapılan geri ödeme süresi hesaplaması Tablo 11'da sunulmuştur. Hesaplama, PV sistemi ile sağlanacak tasarrufun her yıl sabit olacağı kabul edilmiştir.

Ayrıca, ülkemizde son 7 yılda gerçekleşen tüketici enflasyon oranı ağırlıklı ortalaması 12,02 [50] olup, iskonto oranı %12 ve Türk lirası değeri (1 USD=8 TRY) sabitlenerek hesaplama yapılmıştır. PV sistemin kurulmasının bir yıl içerisinde tamamlanacağı öngörülmüştür.

Tablo 11 değerleri incelendiğinde; PV sistem enerji senaryosuna göre Kocaeli Bölgesindeki konteyner limanına kurulması öngörülen PV sistem yatırımının geri ödeme süresi 8,33 yıl olarak belirlenmiştir. PV sistemlerin geri ödeme süresinin önceki yıllarda yapılan bazı çalışmalarda [51] 10 yıl ve üzerinde olduğu belirtilirken, günümüzde yapılan bazı çalışmalarda [35] ise dört yıla kadar düştüğü ifade edilmektedir.

Bu kapsamda, PV sistemin garanti süresinin 25 yıl olduğu da dikkate alındığında, konteyner limanını antrepo ve atölye çatı konumları dikkate alındığında kurulması öngörülen PV sistem yatırımının geri ödeme süresi bakımından makul olduğu değerlendirilmektedir.

Tablo 11. Toplam maliyetin indirgenmiş geri ödeme süresi hesabı

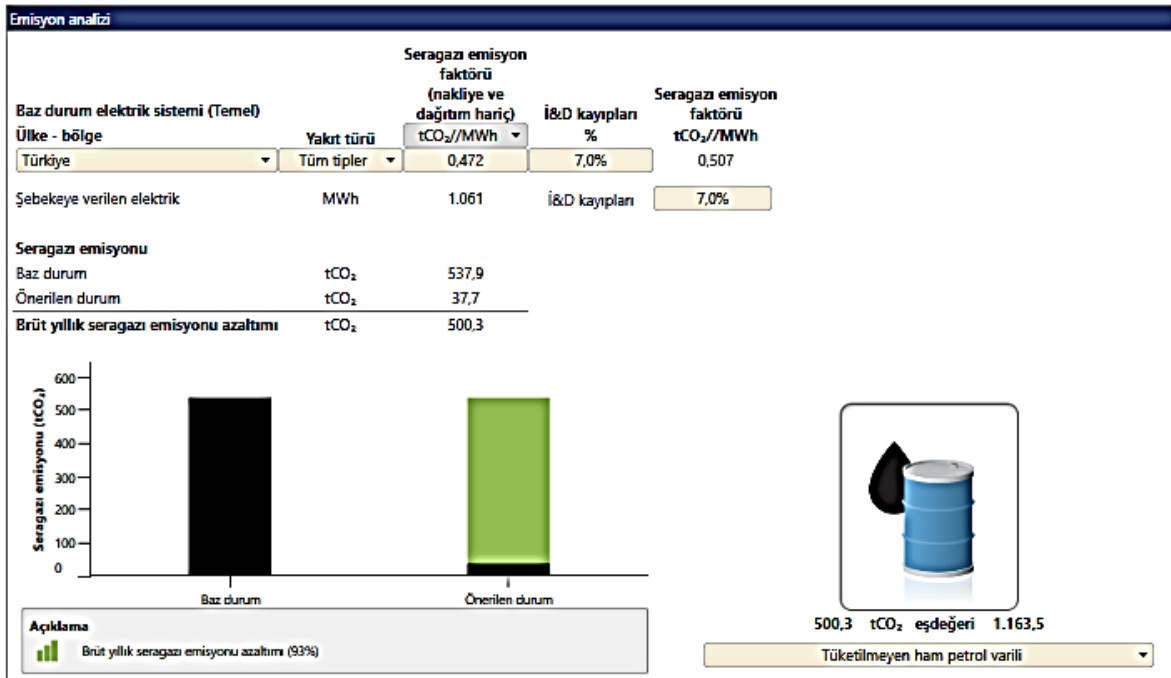
	Net akış (TL)	İndirgenmiş nakit net akışları (TL)	Birikimli indirgenmiş net akış (TL)	Kalan ödeme (TL)	Geri ödeme süresi (yıl)
Temel yıl (0)	-5.439.800				
1. yıl	1.069.069	954.526	1.829.053	4.485.274	
2. yıl	1.069.069	852.255	1.806.781	3.633.019	
3. yıl	1.069.069	760.942	2.567.723	2.872.077	
4. yıl	1.069.069	679.413	3.247.136	2.192.664	
5. yıl	1.069.069	606.618	3.853.754	1.586.046	
6. yıl	1.069.069	541.624	4.395.378	1.044.422	
7. yıl	1.069.069	483.593	4.878.971	560.829	
8. yıl	1.069.069	431.779	5.310.750	129.050	
9. yıl	1.069.069	385.517	5.696.267	-256.467	8,33

C. PV Sisteminin Çevresel Etkisi

Diğer enerji üretim yöntemlerine kıyasla PV sistemler atmosfere daha az sera gazı salımı yapmaktadırlar. Bu çalışma kapsamında PV sistemin sera gazı salım miktarı hesaplamalarında RETScreen yazılımı kullanılmıştır. Sera gazı salım miktarındaki azalmayı hesaplamak için RETScreen yazılımında; coğrafi konum, PV sistem kurulu gücü, geçiş kayıp katsayısı (7.0), sera gazı faktörü (0.507 t/MWh CO² eşdeğeri) olarak kabul edilmek suretiyle emisyon analizi yapılarak PV sistem sayesinde önlenilecek CO² salım miktarı hesaplanmıştır. Söz konusu hesaplama sonucu verileri Şekil 6'da görülmektedir [47].

RETScreen - Emisyon Analizi

Abone: Viewer



Şekil 6'da görüldüğü gibi, PV sistem ile yıllık 500,3 tCO²/yıl sera gazı salımı önlenmiş olacaktır. Başka bir deyişle 1163,5 varil ham petrol tüketilmemiş olacağı öngörülmektedir. PV sistemin üreteceği yıllık sera gazı emisyonu ise yılda sadece 37,7 tCO²/yıl olacaktır.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; ülkemizin deniz ticaret faaliyetlerinde çok önemli bir yeri olan Marmara (Kocaeli) Bölgesinde yer alan büyük ölçekli bir konteyner limanının elektrik ihtiyacının (en azından bir kısmının) güneş enerjisinden karşılanmasına yönelik PV sistem kurulumunun tekno-ekonomik ve çevresel analizi yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda;

- Konteyner limanındaki antrepo ve atölye binalarının çatılarına belirtilen özelliklerde kurulu gücü 962 kW_p olan PV sistemi kurulabileceği ve yılda 1.061.034 kWh elektrik üretiminin 16°'lik panel eğim açısında elde edilebileceği,
- Öngörülen PV sistemin toplam ilk yatırım maliyeti 5.439.800 TL olup söz konusu yatırımın geri dönüş süresinin 8,33 yıl olacağı,
- Öngörülen PV sistemin kurulması halinde, konteyner limanında bir yıl boyunca ihtiyaç duyulan elektriğin yıllık ortalama %9,47'sinin (bu oran mayıs, haziran, temmuz ve ağustos aylarında %14-17'ye kadar çıkabilmektedir) PV sistemi ile karşılanabileceği, dolayısıyla limanın elektrik ihtiyacının çok daha yüksek bir oranla PV sistemle karşılanabilmesi için bina çatılarının dışındaki alternatiflerin de değerlendirilmesi gerektiği,
- Öngörülen PV sistemin kurulması halinde, yıllık 500,3 tCO₂/yıl sera gazı salımının önlenmiş (1163,5 varil ham petrol tüketilmemiş) olacağı,

tespit edilmiştir. Konteyner limanında bulunan antrepo ve atölye binalarının çatıları, şebeke ile bağlantılı PV sistemlerinin kullanılmasını avantajlı kılmaktadır. Ancak, antrepo ve atölye çatılarına kurulması öngörülen PV sistemin, konteyner limanının elektrik ihtiyacını yüksek oranda karşılamaya yetmeyeceği de anlaşılmaktadır. Sadece bu çalışmada incelenen liman için değil, genel olarak limanlardaki ticari operasyonların çok büyük kısmı 7/24 esasına göre açık sahalarda gerçekleşmekte ve kapalı alan (bina) sayısı da oldukça sınırlı olmaktadır. Dolayısıyla, limanlarda elektrik ihtiyacının daha yüksek bir oranda PV sistemle sağlanabilmesi için bina çatılarının dışındaki alternatiflerin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla liman içerisindeki uygun boş alanlar da PV sistem kurulumu için kullanılabilir.

Fakat, bu çalışma kapsamında incelenen konteyner limanının bulunduğu Kocaeli Bölgesinde çok sayıda başka liman tesisinin de bulunduğu düşünüldüğünde, daha genel bir alternatif çözüm olarak, limanlara yakın bir bölgede büyük ölçekli ortak bir PV sistem kurulması ve burada üretilecek elektriğin limanlara dağıtılması şeklindeki bir yatırım modelinin daha etkin ve ekonomik olabileceği değerlendirilmektedir. Tabii ki bu model, rüzgâr enerjisi vb. gibi diğer alternatif/yenilenebilir enerji kaynakları ile desteklenerek hibrit bir yapıda da olabilir. Bu konu, ilgi duyan araştırmacılar tarafından gelecekteki çalışmalarda da detaylıca ele alınabilir.

KAYNAKLAR

- [1] İMEAK DTO. (2019). *2019 Sektör Raporu*. <https://www.denizticaretodasi.org.tr/tr/yayinlarimiz/sectorraporu> (15.08.2021).
- [2] Donald, M. (2000). *The Development of Container Logistics in Intermodal Transport in South Africa Training in Shipping*. Master of Science Thesis, World Maritime University, Malmö.
- [3] Fulser, S. (2015). *Kombine Taşımacılık ve Türkiye Uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Türkiye Elektrik İletişim A.Ş. (TEİAŞ). (2020). *2019 Yılı Türkiye Elektrik İletimi Sektör Raporu*. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/sector-raporlari>. (15.08.2021).
- [5] British Petroleum (BP). (2019). *BP Statistical Review of World Energy*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf> (15.08.2021).
- [6] Varınca, K. B., & Gönüllü, T. (2006). Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma. *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGHEK)*, Eskişehir.
- [7] Şen, Z. (2004). Türkiye'nin Temiz Enerji İmkânları. *Mimar ve Mühendis Dergisi*, 33, 6-12.
- [8] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). 2021. *Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)*. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>. (15.08.2021).
- [9] European Commission (EU). (2021). *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/methods>, (15.08.2021).

- [10] Alcan, Y., Demir, M., & Duman, S. (2018). Sinop İlinin Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Ülkemiz ve Almanya İle Karşılaştırarak İncelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5(19), 35-44.
- [11] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). *Insights Renewables*. <https://www.irena.org/> (15.08.2021).
- [12] Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Denizcilik Genel Müdürlüğü (DGM). (2020). *Denizcilik İstatistikleri – Konteyner İstatistikleri*. <https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/konteyner-istatistik>, (15.08.2021).
- [13] Saitov, E. B., Toshov, J. B., Pulatov, A. O., Botirov, B. M., & Kurbanov, Yu. M. (2020). Networked Interactive Solar Panels over the Roof Photovoltaic System (PVS) and its Cost Analysis at Tashkent State Technical University. *Rudenko International Conference (RSES 2020)* 216 (01133).
- [14] Kumar, G. R., Prasad, A. H., Saketha, N. S., & Saichandana, K. (2014). A New Innovative Design principle of Grid Interactive Roof Top Solar Photovoltaic Power Generation. *International Journal of Education and Applied Research (IJEAR)*, 4(1), 37-41.
- [15] Mohanta, P.R., Patel, J., Bhuva, J., & Gandhi, M. (2015). A Review on Solar Photovoltaics and Roof Top Application of It. *International Journal of Advance Research in Engineering, Science & Technology (IJAREST)*, 2(4), 2394-2444.
- [16] Singh, S., Srivastava, A., & Rawat, H. S. (2017). Grid Interactive Rooftop Solar Photo Voltaic (PV) System & its Cost Analysis for Pantnagar University. *International Journal on Emerging Technologies (Special Issue NCEST-2017)*, 0975-836.
- [17] Siraki, A. G., & Pillay, P. (2012). Study of Optimum Tilt Angles for Solar Panels in Different Latitudes for Urban Applications. *Solar Energy*, 86(6), 1920-1928. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.02.030>
- [18] Yıldırım, E., & Aktacir, M. A. (2019). Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemlerde Azimut ve Eğim Açısı Etkilerinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(2), 609-619.
- [19] Çelebi, G. (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerinin Kullanım İlkeleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17 (3), 17-33.
- [20] Güven, Ş. Y., & Şenol, R. (2005). Güneş Pili Destekli Çevre Aydınlatma ve Sulama Sisteminin Örnek Bir Uygulaması. *Mühendis ve Makina*, 46 (548),13-20.
- [21] Dikmen, Ç. B., & Gültekin, A. B. (2011). Sürdürülebilirlik Kapsamında Yapılarda Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 1(3), 96-100.
- [22] Dondariya, C., Porwal, D., Awasthi, A., Shukla, A. K., Sudhakar, K., SR, M. M., & Bhimte, A. (2018). Performance Simulation of Grid-Connected Rooftop Solar PV System for Small Households: A Case Study of Ujjain, India. *Energy Reports*, 4, 546-553.
- [23] Akkaya, S., & Akkaya Oy, S. (2021). Samsun, Bayburt ve Mersin İllerine Kurulabilecek Güneş Enerjisi Santrallerinin Modellenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(2), 759-773.
- [24] Heras-Saizarbitoria, I., Zamanillo, I., & Laskurain, I. (2013). Social Acceptance of Ocean Wave Energy: A Case Study of an OWC Shoreline Plant. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 27, 515–524
- [25] Yılmaz, F. (2019). Contributions of “Green-Ecoport Approach” to Merchant Trade and Logistics: Comparison of Practices in Turkey and the European Union (EU). *Journal of Transportation and Logistics*, 4(2), 65-78.
- [26] Liu, P., Wang, C., Xie, J., Mu, D., & Lim, MK. (2021). Towards Green Port-Hinterland Transportation: Coordinating Railway and Road Infrastructure in Shandong Province, China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 94, 102806.
- [27] Sifakis, N., Konidakis, S., & Tsoutsos, T. (2021). Hybrid Renewable Energy System Optimum Design and Smart Dispatch for Nearly Zero Energy Ports. *Journal of Cleaner Production*, 310, 127397.
- [28] Yang Y.C., & Chang W. M. (2013). Impacts of Electric Rubber-Tired Gantries on Green Port Performance. *Research in Transportation Business and Management*, 8, 67-76.
- [29] Villalba, I., & Diaz, F. (2015). Analysis of the Present Situation of Solar Photovoltaic Systems Integration in the Spanish Ports. *EU PVSEC 2015*, Germany.
- [30] Nikishin, A.J., & Kharitonov, MS. (2021) Modernization of Marine Ports Electrical Power Supply Systems in The Framework of Zero-Emission Strategy, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, International conference Germany and Russia.
- [31] Misra, A., Venkataramani, G., Gowrishankar, S., Ayyasam, E., & Ramalingam, V. (2017). Renewable Energy Based Smart Microgrids a Pathway to Green Port Development. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 37(2), 17-32.

- [32] Elnejjar, H. M., Shehata, A. S., Albatran, A. H. A., & Shehadeh, M. F. (2021). Experimental and Techno-Economic Feasibility Analysis of Renewable energy Technologies for Jabel Ali Port in UAE. *Energy Reports*, 7(5), 116-136.
- [33] Vidal, H., Rivera, M., Wheeler, P., & Vicencio, N. (2020). The Analysis Performance of a Grid-Connected 8.2 kWp Photovoltaic System in the Patagonia Region. *Sustainability*, 12, 1-16.
- [34] Yiğit, A., & Atmaca, İ. (2018). *Güneş Enerjisi*, Bursa, Türkiye. Dora Yayınevi.
- [35] Sulukan, E. (2020). İstanbul'da Bir Fotovoltaik Sistemin Tekno-Ekonomik ve Çevresel Analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1) 127-132.
- [36] Messenger R.A., & Ventre, J. (2005). *Photovoltaic Systems Engineering*. 2. Baskı, Florida. Taylor & Francis e-Library.
- [37] Sick, F., & Erge, T. (1996). *Photovoltaics in Buildings: A Design Handbook for Architects and Engineers*. London. James & James Ltd.
- [38] Güven, A. F. (2016). Afyon Oruçoğlu Termal Otelinin Enerji İhtiyacını Karşılacak Güneş Enerji Sisteminin Tasarlanması, Optimizasyonu ve Maliyet Analizi. *Uluslararası Sosyal Bilimler ve Eğitimde Stratejik Araştırma Konferansı (ICoSReSSE)*, 1-18.
- [39] Yadav, S., Hachem-Vermette, C., Panda, S. K., Tiwari, G. N., & Mohapatra, S. S. (2021). Determination of Optimum Tilt and Azimuth Angle of BISPVT System Along With its Performance Due to Shadow of Adjacent Buildings. *Solar Energy*, 215, 206-219. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.12.033>
- [40] Karaca, Ü. B., & Uçar, S. (2018). Konut Çatı ve Cephelelerinde Farklı Fotovoltaik Sistem Uygulamalarının Değerlendirilmesi. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 65-76.
- [41] Port of Rotterdam Authority (PRA). (2021). *Solar Power in the Port*. <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/solar-power-in-the-port> (15.08.2021).
- [42] Tenerife Ports (TP). (2020). *Sustainable Electric Mobility Plan*. <https://sustainableworldports.org/project/tenerife-ports-e-island-sustainable-electric-mobility-plan/> (15.08.2021).
- [43] International Renewable Energy Agency. (2022). <https://www.irena.org/publications/2022/Mar/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>(15.04.2022).
- [44] Çevre, Şehir ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB). (2021). <https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587> (15.04.2022).
- [45] Elektrik Üreticileri Derneği (EÜD). (2022). <https://www.eud.org.tr/2022/01/11/dunya-enerji-krizi-kiskacinda/> (15.04.2022).
- [46] Huld T., Friesen G., Skoczek A., Kenny R. P., Sample T., Field M., & Dunlop E. D. (2011). A Power-Rating Model for Crystalline Silicon PV Modules. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 95, 3359-3369. doi:10.1016 / j.solmat.2011.07.026
- [47] Government of Canada (GC). (2021). *RETScreen*. <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis-software-modelling/retscreen/7465> (15.08.2021).
- [48] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2021). *Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları*. <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari> (15.08.2021).
- [49] Eski, H., & Armaneri, Ö. (2006). *Mühendislik Ekonomisi*. Ankara, Türkiye. Gazi Kitapevi.
- [50] T.C. Merkez Bankası (MB). (2021). *Tüketici Fiyatları*. <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Enflasyon+Verileri/Tuketici+Fiyatları> (15.08.2021).
- [51] Üçgül, İ., Tüysüzoğlu, E., & Yakut, M. (2014). PV Çatı Uygulaması için Enerji Hesaplaması ve Ekonomik Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(2), 1-6.

Araştırma Makalesi - Research Article

Comparative Quantum Chemical Analysis of Midaflur, a Fluorinated Aminoimidazoline

Bir Florlu Aminoimidazolin Olan Midaflur'un Karşılaştırmalı Kuantum Kimyasal Analizi

Sümeyya Serin^{1*}

Geliş / Received: 18/02/2022

Revize / Revised: 16/05/2022

Kabul / Accepted: 20/06/2022

ABSTRACT

Inspired by the striking achievements of fluorine-containing heterocyclic compounds in pharmaceutical chemistry, in this study quantum chemical calculations were carried out on the midaflur compound, which has skeletal-muscle relaxant and central nervous system (CNS) depressant properties. First of all, the total energy (ΔE_{Total}), enthalpy (ΔH), and Gibbs free energy (ΔG) values for both tautomeric structures of midaflur were calculated and it was determined which form was more stable and the rest of the study was continued on this structure. For the stable amino form, the HF method and B3LYP/B3PW91 DFT functionals with different basis sets were used in order to examine the geometric parameters. The results were found to be in good agreement with the experimental values given in the literature. Furthermore, FT-IR analysis, Mulliken population analysis, frontier molecular orbital (FMO) analysis, natural bond orbital (NBO) analysis, nonlinear optical (NLO) properties, and electrostatic surface properties were studied in detail. In another part of the study, the logPow (logarithm of the n-octanol/water partition coefficient) value, which is the numerical expression of the lipophilicity of a drug for entry into the CNS, was estimated for midaflur. For this purpose, the calculations were repeated for the water and n-octanol phases using the universal solvation model based on density (SMD) for all the methodologies used in this study, and the free energies of solvation were predicted. It was concluded that the predictive power of the computational methods increased in the order of HF < B3PW91 < B3LYP.

Keywords- Midaflur, DFT, Mulliken Charges, NBO

ÖZ

Flor içeren heterosiklik bileşiklerin farmasötik kimyadaki dikkat çekici başarılarından esinlenen bu çalışmada, iskelet-kas gevşetici ve merkezi sinir sistemi (MSS) depresan özelliklerine sahip midaflur bileşiği üzerinde kuantum kimyasal hesaplamalar yapılmıştır. Öncelikle midaflur'un her iki tautomerik yapısı için toplam enerji (ΔE_{Total}), entalpi (ΔH) ve Gibbs serbest enerji (ΔG) değerleri hesaplanarak hangi formun daha kararlı olduğu belirlendi ve çalışmaya bu yapı üzerinden devam edildi. Kararlı amino formuna ait geometrik parametreleri incelemek için HF yöntemi ve B3LYP/B3PW91 DFT fonksiyonelleri farklı temel setlerle kullanılmıştır. Sonuçların literatürde verilen deneysel değerlerle uyum içinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca FT-IR analizi, Mulliken popülasyon analizi, sınır moleküler orbital (FMO) analizi, doğal bağ orbital (NBO) analizi, doğrusal olmayan optik (NLO) özellikler ve elektrostatik yüzey özellikleri detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmanın başka bir bölümünde, bir ilacın MSS'ye giriş için lipofilitesinin sayısal ifadesi olan logP_{ow} (n-oktanol/su partiyon katsayısının logaritması) değeri midaflur için tahmin edilmiştir. Bu amaçla, bu çalışmada kullanılan tüm metodolojiler için yoğunluğa dayalı evrensel solvasyon modeli (SMD) kullanılarak su ve n-oktanol fazları için

^{1*}Corresponding author contact: sumeyya.alatas@inonu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4637-1734>)
Scientific and Technological Research Center, Inonu University, Malatya, Türkiye

hesaplamalar tekrarlanmış ve solvasyon serbest enerji değerleri tahmin edilmiştir. Hesaplamalı yöntemlerin tahmin gücünün HF < B3PW91 < B3LYP sırasına göre arttığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler- Midaflur, DFT, Mulliken Yükleri, NBO

I. INTRODUCTION

Heterocyclic compounds represent a fairly large class of compounds that play a crucial role in pure and applied chemistry. It is frequently encountered that heterocycles are used in many areas of biological and industrial importance [1]. Fluorinated heterocyclic compounds, which are the subgroup of heterocyclic compounds and are at the intersection of organic, heterocyclic, and fluoroorganic chemistry, take part among the products of technical importance. There are many studies in which remarkable changes in physicochemical and pharmacological properties are observed with the addition of at least one fluorine atom or fluorinated functional groups to an organic molecule [2,6]. With the addition of fluorine, changes in the properties of the molecule such as electronegativity, hardness, polarizability, and lipophilicity may motivate this situation. Nowadays, approximately 20% of marketed drugs are fluoropharmaceuticals. Fludrocortisone, a synthetic corticosteroid with antiinflammatory and antiallergic properties, was the first fluoropharmaceutical. Inspired by the high activity of fluorinated corticosteroids, interest in the synthesis of fluorinated drug candidates has increased steadily over the past 60 years [7-9]. It is known that current fluorinated drugs mostly contain fluorine and trifluoromethyl groups in their structures. Midaflur (4-amino-2,2,5,5-tetrakis(trifluoromethyl)-3-imidazoline) is one of the synthetics flourinated aminoimidazolines that is highly substituted with trifluoromethyl groups. It was reported that the compound synthesized and its structure was elucidated by Middleton and Krespan in 1970, has apparent pharmacological activity as a muscle relaxant and central nervous system depressant as a result of clinical studies [10]. There are several studies about crystal structure analysis, pharmacological and toxicological effects of midaflur [11-14].

Nowadays, quantum chemistry is an emerging field and goes on to make considerable improvements, both in terms of computational methods that make maximum use of existing computer hardware and theoretical methods that provide increasingly accurate and effective approaches. Quantum chemical computations have taken an active part in the chemical sciences to provide theoretical estimations and meaningful interpretations of many features of experimental interest. [15-21]. From this point of view, in this work, it is aimed to perform structural analysis, Mulliken population analysis, frontier molecular orbital (FMO) analysis, solvation free energy predictions, natural bond orbital (NBO) analysis, nonlinear optical (NLO) analysis and electrostatic surface properties (ESP) for midaflur based on quantum chemical calculations.

II. COMPUTATIONAL METHOD

Whole theoretical calculations were carried out by using GAUSSIAN 09W package program [22]. The geometry optimization of midaflur has been performed by using Density Functional Theory functionals both B3LYP and B3PW91 with five different basis sets [23-26]. Also, calculations were repeated by using Hartree-Fock (HF) method with the same basis sets [27]. Analysis of the IR spectrum of midaflur was done by means of the VEDA 4XX program with regard to the percent potential energy distribution (PED %) analysis [28]. In the optimized structures of the midaflur, no imaginary frequency has been observed and that has verified the real minimum on the potential energy surface. GAUSSVIEW 5 molecular visualization program was utilized to visualize HOMO-LUMO diagrams and ESP maps [29]. Gauss-Sum 3.0 program was used to obtain the density of states (DOS) plots [30]. Considering the solvents, water and n-octanol phases were simulated using the SMD solvent model, a universal solvation model developed by Truhlar and coworkers [31]. It was developed specifically to predict solvation free energies.

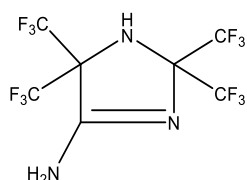
III. RESULTS AND DISCUSSION

A. Molecular Geometry and Stability

The chemical structure of midaflur (1), which is an aminoimidazoline derivative, and another tautomeric structure (2) where the double bond can be located in the exocyclic position are shown in Figure 1. From the ¹H NMR analysis of ¹⁵N-labeled midaflur, it was concluded that the compound exists as an amino tautomer rather than an imino tautomer [10,11]. For each tautomer, total energy (ΔE_{Total}), enthalpy (ΔH), and Gibbs free energy (ΔG) values were calculated by using B3LYP/6-31+G (d,p) level of theory. According to Figure 1, amino form 1 has the lowest ΔE_{Total} , ΔH and ΔG value. This result supports that the most stable structure is amino form 1. This

structure was regarded for other calculations in the study. The optimized structure and atomic labeling of midaflur is shown in Figure 2.

1

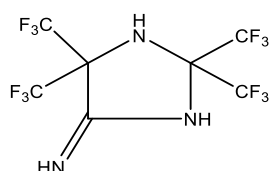


$$\Delta E_{\text{Total}} = -1631.004186 \text{ a. u.}$$

$$\Delta H = -1630.855813 \text{ a. u.}$$

$$\Delta G = -1630.925476 \text{ a. u.}$$

2



$$\Delta E_{\text{Total}} = -1630.992408 \text{ a. u.}$$

$$\Delta H = -1630.844016 \text{ a. u.}$$

$$\Delta G = -1630.913856 \text{ a. u.}$$

Figure 1. The chemical structures and physicochemical parameters of 1 and 2 calculated at B3LYP/6-31+G (d, p) level

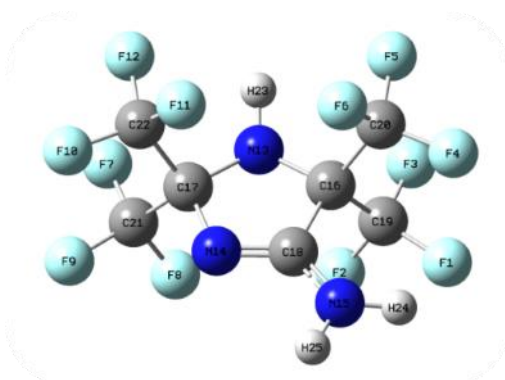


Figure 2. The optimized molecular structure of midaflur

The bond length and bond angle values of midaflur have been calculated by using DFT/B3LYP, DFT/B3PW91 with five basis sets, and HF method with four basis sets. For each methodology, calculated results have been compared with experimental values. The selected results are listed in Table 1, Tables S1 and S2. When the tables are examined, it is obvious that the values are compatible with each other. There are 12 C-F bonds in the structure of the title compound with bond lengths varying between 1.301 Å and 1.340 Å. The experimental and calculated C-F bond lengths are consistent for each methodology. Four C-N bond lengths with experimental values varying between 1.285 Å and 1.448 Å were calculated for B3LYP, B3PW91 and HF methods in the range of 1.281-1.467 Å, 1.280-1.460 Å and 1.259-1.451 Å, respectively. On the other hand, in accordance with the literature [32], it was seen that C-CF₃ bond lengths were calculated in the range of 1.552-1.569 Å for B3LYP, 1.550-1.565 Å for B3PW91, and 1.542-1.550 Å for HF method. Considering the bond angles, mainly 12 F-C-F and 12 C-C-F bond angles were calculated. F-C-F bond angle values calculated for all methods ranged from 107.0° to 108.7°, while C-C-F bond angle values ranged from 109.8° to 113.1°. N15-C18-N14 bond angle with an experimental value of 124.8° was calculated in the range of 124.8-125.1°, 124.7-125.0°, and 124.9-125.1° for the B3LYP, B3PW91 and HF methods, respectively, and values very close to the X-ray value were obtained. In the calculations of bond length made with DFT/B3LYP, DFT/B3PW91 and HF methods with all basis sets, the linear correlation coefficients (R^2) were found to be around 0.99. Similarly, R^2 values were found to be around 0.97 in bond angle comparisons. All bond length and bond angle values are included in the calculation of R^2 values.

Table 1. Selected bond length and bond angle values calculated at B3LYP/6-311++G(d,p)

Bond length (Å)	X-ray data	6-311++G(d,p)	Bond Angle (°)	X-ray data	6-311++G(d,p)
N15-C18	1.315	1.346	N15-C18-N14	124.8	125.0
C18-N14	1.285	1.281	N13-C16-C19	110.7	110.3
N14-C17	1.432	1.435	N13-C16-C20	111.0	112.2
C17-N13	1.448	1.463	C17-C22-F10	112.8	113.1
N13-C16	1.431	1.439	C17-C21-F9	112.1	112.4
C16-C18	1.528	1.546	C16-C20-F6	110.9	110.9
C16-C19	1.539	1.565	C16-C19-F1	112.2	111.7
C17-C21	1.529	1.569	F10-C22-F11	107.5	107.9
C22-F10	1.301	1.335	F7-C21-F8	106.1	107.7
C21-F7	1.340	1.349	F6-C20-F5	107.3	107.5
C20-F6	1.334	1.338	F1-C19-F2	108.3	107.1
C19-F1	1.323	1.357	F2-C19-F3	107.2	108.3
	R ²	0.9896		R ²	0.9663

B. Vibrational Analysis

The vibrational analysis of midaflur was interpreted based on B3LYP/6-311++G (d, p) level of theory. The calculated FT-IR spectrum is represented in Figure 3. Analysis of the FT-IR spectrum of midaflur was done by using the VEDA 4XX program. The vibrational analysis results are represented in Table S3. As it can be seen from Table S3, 69 normal vibration modes were calculated for the midaflur molecule according to the 3N-6 formula. The vibrational modes were multiplied by 0.983 for vibrations less than 1700 cm⁻¹ and the larger ones were multiplied by 0.958 scale factors for B3LYP/6-311++G (d,p) level of theory [33]. In the previously published study, it was stated that C=N absorption band was observed at 1695 cm⁻¹, according to the experimental results of midaflur [5]. When the theoretically calculated FT-IR values are examined, C=N asymmetric stretching vibration is observed at mainly 1652 cm⁻¹ region (PED 81%). This vibration has the largest IR intensity value of 513.1 km/mol. In addition, the C=N symmetric stretching vibration is calculated as 1605 cm⁻¹ (PED 11%).

In general, C-F stretching vibrations are observed in the range of 1000-1400 cm⁻¹ in fluorinated compounds [32], in this study C-F symmetric stretching vibrations are measured theoretically at 1092 cm⁻¹ (PED 24%), 1099 cm⁻¹ (PED 54%), 1124 cm⁻¹ (PED 56%) and 1193 cm⁻¹ (PED 26%). Similarly, C-F asymmetric stretching vibrations are measured at 942 cm⁻¹ (PED 34%), 1101 cm⁻¹ (PED 20%), 1139 cm⁻¹ (PED 52%) and 1206 cm⁻¹ (PED 40%).

It has been observed that there are three NH vibrations from the theoretical FT-IR spectrum. First of all is the asymmetric stretching vibration of the N15-H bond observed at 3562 cm⁻¹ (PED 99%). The second one is the N13-H symmetric stretching vibration observed at 3465 cm⁻¹ (PED 100%). Finally, N15-H symmetric stretching vibration is observed at 3444 cm⁻¹ (PED 99%). Bands are quite weak and their IR intensity values are calculated as 88.4, 56.4, and 105.6 km/mol respectively. Furthermore, the H24-N15-H25 and H23-N13-C17 symmetric bending vibrations were calculated as 1605 cm⁻¹ (PED 71%) and 1420 cm⁻¹ (PED 69%), respectively.

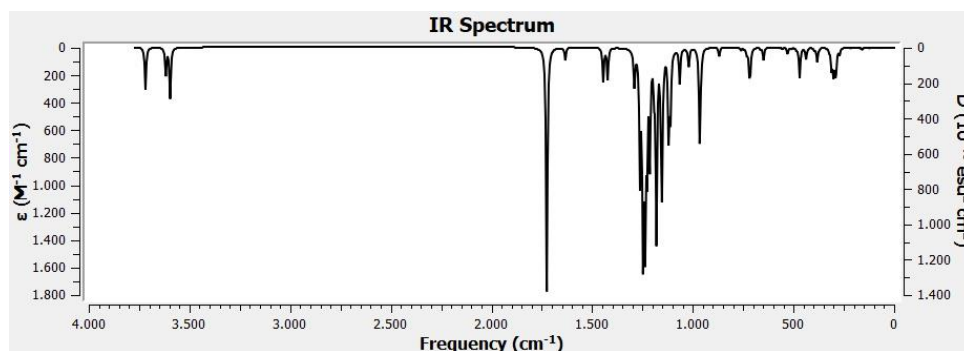


Figure 3. IR spectrum of midaflur at B3LYP/6-311++G(d,p) level of theory in gas phase

C. Mulliken Population Analysis

In this part of the study, Mulliken population analysis [34] was performed to determine charge changes for each atom of midafilur in gas and solvent environments. The calculations were carried out at B3LYP/6-311++G (d, p), B3PW91/6-311++G (d, p), and HF/6-311++G (d, p) levels of theory. The calculated results were listed in Table S4. It is clear from Figure 4, in which the atomic charge diagrams are presented, that there is a propensity in the same direction in the charge distribution at all three theory levels, including the solvent environment. For example, while for the H23 atom, at B3LYP/6-311++G (d, p) level, its charge in the gas phase was calculated as 0.37093e, an increase in the atomic charge was observed with the increase of the dielectric constant of the solvent environment. The charge of the H23 atom in n-octanol ($\epsilon=9.863$) and water ($\epsilon=78.39$) media was calculated as 0.42126e and 0.42977e, respectively. The same is true for other theory levels and H24 and H25 atoms. While the charges of negatively charged C16 and C17 atoms in the gas phase were -0.87062e and -4.05797e, respectively, these values increased to -0.85531e and -3.96336e in the n-octanol phase. In the water phase, it was calculated as -0.85169e and -3.94429e.

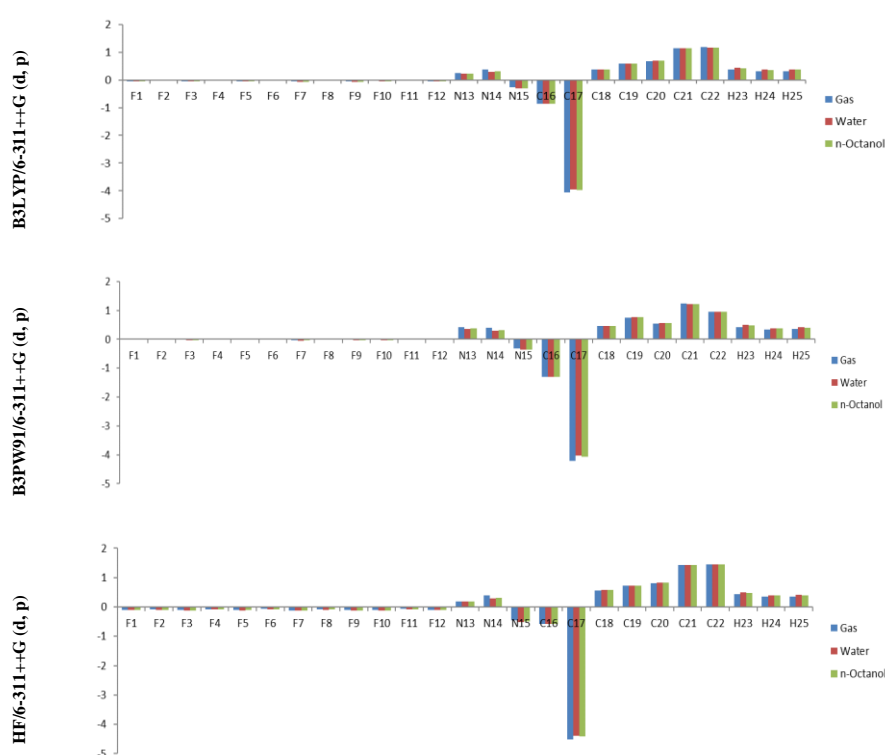


Figure 4. Mulliken charge diagrams of midafilur according to changing dielectric media

D. Frontier Molecular Orbital Analysis

DFT methods are convenient tools used not only to calculate molecular properties but also to obtain conceptual information about the chemical reactivity of molecules. The reactivity of a molecule can be interpreted with the assist of FMO theory [35]. The highest occupied molecular orbitals (HOMO) and the lowest unoccupied molecular orbitals (LUMO) refer to frontier molecular orbitals. LUMOs act as electron acceptors while HOMOs act as electron donors. The plots of DOS which describe energy levels and energy composition per unit energy increase can ensure an illustration of an entire orbitals system [36, 37]. The DOS graphs obtained from Gaussian outputs created at B3LYP/ 6-311++G(d,p) level for gas, water, and n-octanol phases using Gauss-Sum software are represented in Figure 5. Moreover, the HOMO-LUMO plots corresponding to the same phases are also shown in Figure 5. The green color of the molecular orbitals shown in DOS graphs represents the negative region while the red color corresponds to the positive region. The HOMO and LUMO locations of midafilur are largely distributed over the entire molecule, with the exception of some fluorine groups. The difference between HOMO and LUMO energies, known as the energy gap and symbolized by ΔE (Equation (3)), is clearly seen in the DOS graphs. It gives valuable information about the stability of a molecule.

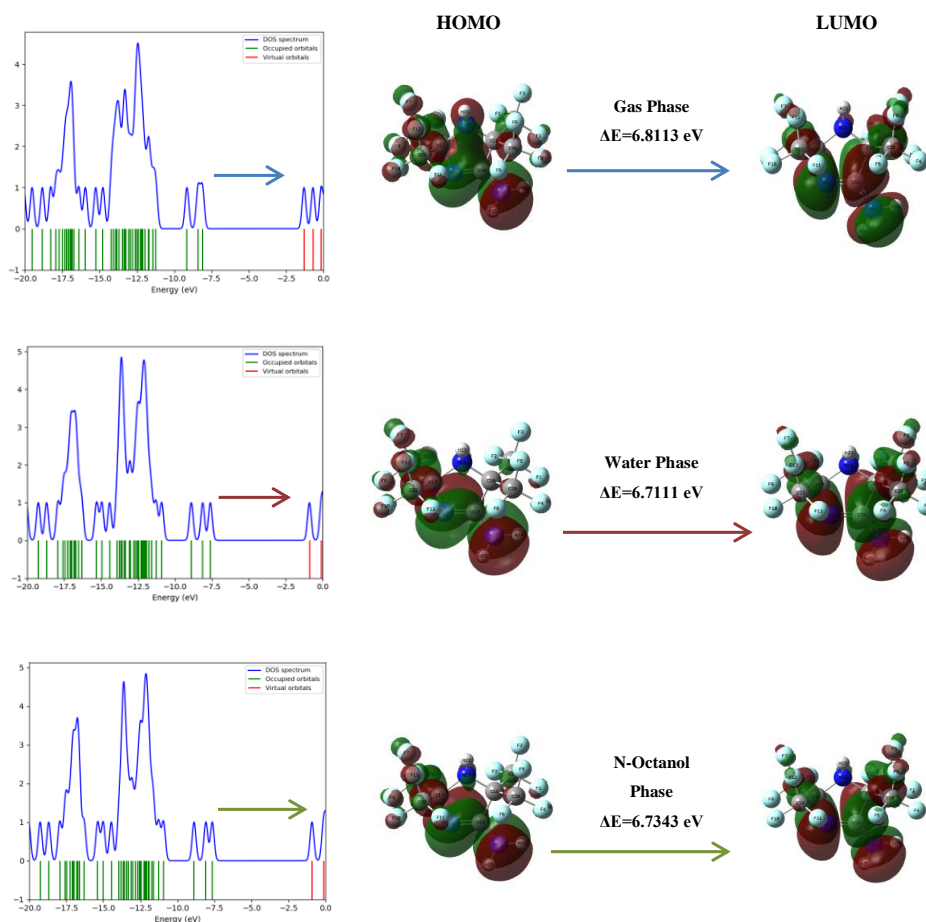


Figure 5. DOS diagrams and HOMO-LUMO plots of midafur at B3LYP/6-311++G (d,p) level

As already known, in accordance with Koopmans theorem [38], the ionization energy (I) and electron affinity (A) (Equations 1 and 2) can be expressed via energies of HOMO and LUMO. Accordingly, if the HOMO and LUMO energy values are known, parameters called quantum chemical descriptors, which provide important information about the activity of the molecule, can be calculated. Quantum chemical descriptors, proposed by Parr et al. [39-43] and the corresponding formulas are given below (Equations 4-8) are frequently used by computational chemists.

Equation	Parameter	Equation Number
$I = -E_{HOMO}$	Ionization Potential (I)	(1)
$A = -E_{LUMO}$	Electron Affinity (A)	(2)
$\Delta E = E_{LUMO} - E_{HOMO}$	Energy Gap (ΔE)	(3)
$\mu = -\frac{I + A}{2}$	Chemical Potential (μ)	(4)
$\eta = \frac{I - A}{2}$	Chemical Hardness (η)	(5)
$S = \frac{1}{2\eta}$	Softness (S)	(6)
$\chi = \frac{I + A}{2}$	Electronegativity (χ)	(7)
$\omega = \frac{\mu^2}{2\eta}$	Electrophilicity index (ω)	(8)

E_{HOMO} , E_{LUMO} , ΔE values, and other quantum chemical descriptors calculated by using different methodologies in this study are represented in Table 2 for the gas, water and n-octanol phases. When the energy gap (Equation 3) values are examined, while generally similar values are obtained for B3LYP and B3PW91

functionals, a sharp increase is observed in the values obtained by the HF method. The change of basis sets for the B3LYP and B3PW91 functionals did not significantly affect the ΔE values. However, in the HF method, it was observed that the energy gaps decreased with the addition of diffuse functions [44] to the basis sets. The highest energy gap values of the title molecule are obtained by using HF method and the values are equal to 14.9880 eV, 14.8939 eV and 14.8460 eV for gas, n-octanol, and water phases respectively. The same trend was observed in chemical hardness values. Looking at Equations (3) and (5), it is easily understood that the energy gap and chemical hardness values are related to each other, so a trend in this direction is expected. Similarly, the highest chemical hardness values were also calculated as 7.4940 eV for gas phase, 7.4470 eV for n-octanol phase and 7.4230 eV for water phase using HF method.

One of the important quantum chemical descriptors is the electrophilicity index (ω), which is a measure of electrophilic strength. It is observed there is a similar trend in the EI values for not only B3LYP but also B3PW91 functionals. Additionally, the gradually increasing values according to the variation in the basis set draw attention. In the HF method, the electrophilicity index values for gas, n-octanol and water phases vary between 0.6864 eV and 0.9543 eV in the calculations made with the 6-31G (d, p) and 6-311G (d, p) basis sets. It is observed that these values increase with the addition of diffuse functions and change between 1.8060 eV and 2.2553 eV. The same situation can be seen for electronegativity values.

Table 2. Calculated quantum chemical descriptors for midafur

		gas							
Basis Set		E_{HOMO}	E_{LUMO}	ΔE	η (eV)	S (eV ⁻¹)	μ (eV)	χ (eV)	ω (eV)
B3LYP	6-31G(d,p)	-7.4516	-0.5369	6.9147	3.4574	0.1446	-3.9943	3.9943	2.3073
	6-311G(d,p)	-7.8127	-0.8661	6.9466	3.4733	0.1440	-4.3394	4.3394	2.7107
	6-31++G(d,p)	-8.0271	-1.2553	6.7718	3.3859	0.1477	-4.6412	4.6412	3.1809
	6-311++G(d,p)	-8.1085	-1.2972	6.8113	3.4057	0.1468	-4.7029	4.7029	3.2471
B3PW91	6-31G(d,p)	-7.4815	-0.5676	6.9139	3.4570	0.1446	-4.0246	4.0246	2.3427
	6-311G(d,p)	-7.8121	-0.8604	6.9517	3.4759	0.1438	-4.3363	4.3363	2.7048
	6-31++G(d,p)	-7.9757	-1.1766	6.7991	3.3996	0.1471	-4.5762	4.5762	3.0800
	6-311++G(d,p)	-8.0540	-1.2193	6.8347	3.4174	0.1463	-4.6367	4.6367	3.1455
HF	6-31G(d,p)	-11.0511	3.9369	14.9880	7.4940	0.0667	-3.5571	3.5571	0.8442
	6-311G(d,p)	-11.2688	3.7078	14.9766	7.4883	0.0668	-3.7805	3.7805	0.9543
	6-31++G(d,p)	-11.3240	0.8923	12.2163	6.1082	0.0819	-5.2159	5.2159	2.2270
	6-311++G(d,p)	-11.4010	0.8768	12.2778	6.1389	0.0814	-5.2621	5.2621	2.2553
		water							
B3LYP	6-31G(d,p)	-7.0951	-0.2389	6.8562	3.4281	0.1459	-3.6670	3.6670	1.9613
	6-311G(d,p)	-7.3773	-0.5102	6.8671	3.4336	0.1456	-3.9438	3.9438	2.2649
	6-31++G(d,p)	-7.5354	-0.8637	6.6717	3.3359	0.1499	-4.1996	4.1996	2.6434
	6-311++G(d,p)	-7.6012	-0.8901	6.7111	3.3556	0.1490	-4.2457	4.2457	2.6859
B3PW91	6-31G(d,p)	-7.1604	-0.2920	6.8684	3.4342	0.1456	-3.7262	3.7262	2.0215
	6-311G(d,p)	-7.4173	-0.5298	6.8875	3.4438	0.1452	-3.9736	3.9736	2.2924
	6-31++G(d,p)	-7.5348	-0.8183	6.7165	3.3583	0.1489	-4.1766	4.1766	2.5971
	6-311++G(d,p)	-7.5966	-0.8419	6.7547	3.3774	0.1480	-4.2193	4.2193	2.6355
HF	6-31G(d,p)	-10.6111	4.2281	14.8392	7.4196	0.0674	-3.1915	3.1915	0.6864
	6-311G(d,p)	-10.7537	4.0923	14.8460	7.4230	0.0674	-3.3307	3.3307	0.7472
	6-31++G(d,p)	-10.8165	1.4161	12.2326	6.1163	0.0817	-4.7002	4.7002	1.8060
	6-311++G(d,p)	-10.8557	1.3998	12.2555	6.1278	0.0816	-4.7280	4.7280	1.8240

Table 2. Continues

		n-octanol							
B3LYP	6-31G(d,p)	-7.1125	-0.2370	6.8755	3.4378	0.1454	-3.6748	3.6748	1.9640
	6-311G(d,p)	-7.4132	-0.5274	6.8858	3.4429	0.1452	-3.9703	3.9703	2.2892
	6-31++G(d,p)	-7.5765	-0.8825	6.6940	3.3470	0.1494	-4.2295	4.2295	2.6723
	6-311++G(d,p)	-7.6442	-0.9099	6.7343	3.3672	0.1485	-4.2771	4.2771	2.7164
B3PW91	6-31G(d,p)	-7.1816	-0.2999	6.8817	3.4409	0.1453	-3.7408	3.7408	2.0334
	6-311G(d,p)	-7.4467	-0.5415	6.9052	3.4526	0.1448	-3.9941	3.9941	2.3103
	6-31++G(d,p)	-7.5694	-0.8327	6.7367	3.3684	0.1484	-4.2011	4.2011	2.6198
	6-311++G(d,p)	-7.6333	-0.8580	6.7753	3.3877	0.1476	-4.2457	4.2457	2.6605
HF	6-31G(d,p)	-10.6503	4.2311	14.8814	7.4407	0.0672	-3.2096	3.2096	0.6922
	6-311G(d,p)	-10.8027	4.0912	14.8939	7.4470	0.0671	-3.3558	3.3558	0.7561
	6-31++G(d,p)	-10.8620	1.3630	12.2250	6.1125	0.0818	-4.7495	4.7495	1.8452
	6-311++G(d,p)	-10.9063	1.3478	12.2541	6.1271	0.0816	-4.7793	4.7793	1.8640

E. Solvation Free Energy Calculations

Free energy of solvation, which is descriptive of the free energy of transfer of a particular molecule from the gas phase to solvent phase, has taken its place in recent studies as a topic of interest in computational chemistry [45-50]. Solvation free energy is a parameter needed in many fields such as chemistry, biology, and pharmacology, as it is closely related to some physicochemical properties such as solubility, interphase distribution, pKa, lipophilicity, and hydrophilicity. Unfortunately, out of millions of known organic molecules, those with known experimental solvation free energy values are in the minority. This situation allows scientists to turn toward computational methods provided that trustworthy predictions are obtained. In order to acquire information about the relative solubility of a solute in different dielectric media, solvation-free energies can be computed for the same solute with different solvents. Especially in drug design studies in pharmacology, the solvation free energy values obtained by using computational methods can be interpreted and information about the lipophilic character of a molecule can be obtained. The extent of the absorption, distribution, metabolism, and excretion (ADME) process of a drug largely depends on the structural and physicochemical properties of the drug. One of the leading of these physicochemical properties is lipophilicity [51-53]. The quantitative expression of the lipophilicity is the logarithm of the partition coefficient (logP) that is acquired by measuring the partitioning of a solute between two immiscible solvents systems. The water/n-octanol solvent system is the most commonly used [54].

In the light of this information, in this part of the work, Gibbs free solvation energies of midafur were computed for the water and n-octanol phases utilizing SMD solvent model at the studied theory levels. By using calculated solvation free energy values, one can calculate the partition coefficient, according to the expression given below [55] (Equation 9):

$$\text{Log}P_{ow} = \frac{(\Delta G_{\text{water}} - \Delta G_{\text{n-octanol}})}{2.303RT} \quad (9)$$

According to the formula, R and T express the gas constant and temperature, respectively. ΔG_{water} and $\Delta G_{\text{n-octanol}}$ are the free energy differences of midafur in solvent and in gas phase. The computed results are shown in Table 3 and logPow values were estimated for each level. The experimental n-octanol/water partition coefficient of midafur ($\text{log}P_{ow} = 3.35$) was taken from reference [56]. In accordance with Table 3, it is marked that the solvation free energy values decrease when going from the water phase into the n-octanol phase. Moreover, it is observed that calculations with basis sets including diffuse functions tend to produce lower solvation free energies not only in water but also in n-octanol phases. The closest result to the logPow value given in the literature was obtained by B3LYP/6-31G (d, p) level of theory with 1.41 logarithmic unit deviation. It can be said that the predictive power of the computational methods increases in the following order: HF < B3PW91 < B3LYP.

Table 3. The Calculated solvation free energy and logP_{ow} values of midaflur

Method	ΔG_{solv} (kcal/mol)		
	ΔG_{w}	ΔG_{oct}	LogP _{ow} (calc.)
B3LYP			
6-31G (d, p)	-5.45	-8.10	1.94
6-311G (d, p)	-6.59	-8.33	1.28
6-31++G (d, p)	-7.11	-8.42	0.96
6-311++G (d, p)	-7.45	-8.81	0.99
B3PW91			
6-31G (d, p)	-5.49	-6.92	1.05
6-311G (d, p)	-6.54	-8.20	1.21
6-31++G (d, p)	-6.86	-8.29	1.04
6-311++G (d, p)	-7.08	-8.60	1.11
HF			
6-31G (d, p)	-7.01	-8.22	0.89
6-311G (d, p)	-7.91	-8.93	0.75
6-31++G (d, p)	-7.85	-9.09	0.91
6-311++G (d, p)	-8.33	-9.35	0.75

F. Natural Bond Orbital (NBO) Analysis

In computational chemistry, NBO analysis is a popular tool that is frequently used to examine intermolecular and intramolecular bond interactions. It is realized by taking into account all possible interactions between the donor (i) Lewis type NBOs and the acceptor (j) non-Lewis type NBOs and by predicting its energy values with the second order perturbation theory. For each donor (i) and acceptor (j) NBO, the stabilization energy $E^{(2)}$ value is calculated according to the formula as follows (Equation 10):

$$E^{(2)} = \Delta E_{ij} = q_i \frac{(F_{ij})^2}{(\epsilon_j - \epsilon_i)} \quad (10)$$

In the formula, q_i , ϵ_j , and ϵ_i , F_{ij} represent donor bonding orbital occupancy, acceptor bond orbital energies and NBO Fock matrix element respectively [57, 58]. The stabilization energy $E^{(2)}$ expresses the intensity of electron delocalization between the bonding (BD) or lone pair (LP) orbitals and anti-bonding (BD*) orbitals. The higher $E^{(2)}$ value means that the interaction between the donor and acceptor orbitals is more intensive.

In this study, the NBO analysis of midaflur has been calculated by using B3LYP/6-311++G (d, p) level of theory in gas phase. The calculated natural population analysis (NPA) and natural electronic configuration (NEC) results for each atom are summarized in Table 4. According to NBO analysis, the Lewis natural bond orbitals describe 98.6% of the total electron density and the remaining non-Lewis density found valence shell antibonds is about 1.12%, Rydberg antibonds about 0.24% of total electron density. The second-order perturbation theory results of Fock matrix in NBO basis for midaflur are shown in Table 5. There are three Lone Pair interactions LP (1), LP (2), and LP (3) of each fluorine atom. Among them, the strongest interactions have been observed between LP (3) of each fluorine atom and neighboring fluorine and carbon atoms. Stabilization energies vary between 8.37 and 12.68 kcal/mol. In addition, the 13 interactions of lone pair LP (1) of N13, 8 interactions of LP (1) of N14, and 4 interactions of LP (1) of N15 have been determined from NBO analysis results. For N13, four interactions are significant. The stabilization energies for the interactions LP (1) N13 \rightarrow σ^* (C16-C19), N13 \rightarrow σ^* (C16-C20), N13 \rightarrow σ^* (C17-C21), N13 \rightarrow σ^* (C17-C22) are calculated as 8.65, 6.26, 7.33, and 5.14 kcal/mol respectively. For N14, there are three important interactions which are LP (1) N14 \rightarrow σ^* (N13-C17), N14 \rightarrow σ^* (N15-C18), and N14 \rightarrow σ^* (C16-C18). The stabilization energies are 6.07, 2.54, and 12.26 kcal/mol respectively. Finally, the strongest electron delocalization is observed between LP (1) N15 donor and π^* (N14-C18) acceptor orbitals, the stabilization energy is calculated as 58.63 kcal/mol.

Table 4. Results of NPA and NEC of Midaflur

Atom	Natural Charge	Natural Population			Total	Natural Electron Configuration
		Core	Valence	Rydberg		
F1	-0.36221	1.99992	7.35454	0.00775	9.36221	[core]2S ^{1.85} 2p ^{5.50}
F2	-0.33153	1.99991	7.32324	0.00838	9.33153	[core]2S ^{1.84} 2p ^{5.48}
F3	-0.34094	1.99991	7.33303	0.00800	9.34094	[core]2S ^{1.85} 2p ^{5.49}
F4	-0.34663	1.99991	7.33893	0.00779	9.34663	[core]2S ^{1.85} 2p ^{5.49}
F5	-0.34761	1.99991	7.33986	0.00783	9.34761	[core]2S ^{1.85} 2p ^{5.49}
F6	-0.33540	1.99991	7.32700	0.00848	9.33540	[core]2S ^{1.85} 2p ^{5.48}
F7	-0.35327	1.99991	7.34550	0.00785	9.35327	[core]2S ^{1.85} 2p ^{5.50}
F8	-0.34327	1.99991	7.33463	0.00873	9.34327	[core]2S ^{1.85} 2p ^{5.49}
F9	-0.33972	1.99991	7.33215	0.00766	9.33972	[core]2S ^{1.85} 2p ^{5.49}
F10	-0.33422	1.99991	7.32663	0.00768	9.33422	[core]2S ^{1.84} 2p ^{5.48}
F11	-0.34309	1.99991	7.33433	0.00885	9.34309	[core]2S ^{1.85} 2p ^{5.49}
F12	-0.35881	1.99992	7.35126	0.00763	9.35881	[core]2S ^{1.85} 2p ^{5.50}
N13	-0.68684	1.99936	5.66592	0.02156	7.68684	[core]2S ^{1.28} 2p ^{4.39} 3p ^{0.01}
N14	-0.52912	1.99924	5.50679	0.02308	7.52912	[core]2S ^{1.38} 2p ^{4.13} 3p ^{0.01} 3d ^{0.01}
N15	-0.75795	1.99935	5.74430	0.01430	7.75795	[core]2S ^{1.30} 2p ^{4.45} 3p ^{0.01}
C16	-0.06018	1.99891	4.03033	0.03094	6.06018	[core]2S ^{0.97} 2p ^{3.07} 3d ^{0.01} 4p ^{0.02}
C17	0.16866	1.99906	3.79377	0.03851	5.83134	[core]2S ^{0.93} 2p ^{2.86} 3d ^{0.01} 4p ^{0.02}
C18	0.46833	1.99909	3.49320	0.03938	5.53167	[core]2S ^{0.78} 2p ^{2.71} 3d ^{0.01} 4p ^{0.02}
C19	1.07637	1.99923	2.85846	0.06594	4.92363	[core]2S ^{0.78} 2p ^{2.08} 4S ^{0.01} 3d ^{0.02} 4p ^{0.03}
C20	1.07378	1.99922	2.86174	0.06526	4.92622	[core]2S ^{0.78} 2p ^{2.08} 4S ^{0.01} 3d ^{0.02} 4p ^{0.03}
C21	1.07276	1.99921	2.86204	0.06600	4.92724	[core]2S ^{0.78} 2p ^{2.08} 4S ^{0.01} 3d ^{0.02} 4p ^{0.03}
C22	1.06849	1.99920	2.86725	0.06505	4.93151	[core]2S ^{0.79} 2p ^{2.08} 4S ^{0.01} 3d ^{0.02} 4p ^{0.03}

Table 5. Second-order perturbation theory analysis of Midaflur at B3LYP/6-311++G (d,p) level of theory in gas phase

Donor(i)	Occupancy	Acceptor(j)	Occupancy	E ⁽²⁾ kcal/mol	E(j)-E(i)/a.u	F(i,j)/a.u
πN14-C18	1.93788	σ*C17-C21	0.10048	5.19	0.61	0.051
		σ*C17-C22	0.09496	5.69	0.60	0.053
σC16-C19	1.97675	π*N14-C18	0.27940	1.64	0.70	0.032
σC16-C20	1.97761	π*N14-C18	0.27940	1.74	0.70	0.033
σC17-C21	1.97622	σ*F11-C22	0.08685	1.46	0.90	0.033
σC17-C22	1.97822	σ*F8-C21	0.08632	1.36	0.92	0.032
LP (2) F1	1.95307	σ*C16-C19	0.09412	6.27	0.70	0.060
LP (3) F1	1.94152	σ*F2-C19	0.08370	8.37	0.68	0.068
		σ*F3-C19	0.08904	11.17	0.67	0.078
LP (2) F2	1.94515	σ*C16-C19	0.09412	7.15	0.70	0.064
LP (3) F2	1.93326	σ*F1-C19	0.09740	11.85	0.64	0.078
		σ*F3-C19	0.08904	10.54	0.66	0.075
LP (2) F3	1.94902	σ*C16-C19	0.09412	6.63	0.70	0.061
LP (3) F3	1.93455	σ*F1-C19	0.09740	12.60	0.64	0.081
		σ*F2-C19	0.08370	8.94	0.67	0.069
LP (2) F4	1.95018	σ*C16-C20	0.08584	6.90	0.70	0.063
LP (3) F4	1.93660	σ*F5-C20	0.09281	11.91	0.66	0.080
		σ*F6-C20	0.08653	9.06	0.67	0.070
LP (2) F5	1.95065	σ*C16-C20	0.08584	6.22	0.70	0.060
LP (3) F5	1.93729	σ*F4-C20	0.09275	11.54	0.66	0.078
		σ*F6-C20	0.08653	9.18	0.67	0.070
LP (2) F6	1.94675	σ*C16-C20	0.08584	6.98	0.70	0.063
LP (3) F6	1.93415	σ*F4-C20	0.09275	11.71	0.65	0.079
		σ*F5-C20	0.09281	10.20	0.65	0.073
LP (2) F7	1.95174	σ*C17-C21	0.10048	6.37	0.69	0.060
LP (3) F7	1.93874	σ*F8-C21	0.08632	10.20	0.67	0.074
		σ*F9-C21	0.08664	10.38	0.67	0.075
LP (2) F8	1.94703	σ*C17-C21	0.10048	6.70	0.69	0.062
LP (3) F8	1.93775	σ*F7-C21	0.09200	11.91	0.65	0.079
		σ*F9-C21	0.08664	9.52	0.67	0.072
LP (2) F9	1.94832	σ*C17-C21	0.10048	7.21	0.69	0.064
LP (3) F9	1.93544	σ*F7-C21	0.09200	11.71	0.65	0.079
		σ*F8-C21	0.08632	9.96	0.66	0.073

Table 5. Continues

LP (2) F10	1.94720	$\sigma^*C17-C22$	0.09496	7.25	0.70	0.064
LP (3) F10	1.93306	$\sigma^*F11-C22$	0.08685	9.51	0.66	0.071
		$\sigma^*F12-C22$	0.09470	12.68	0.65	0.081
LP (2) F11	1.94787	$\sigma^*C17-C22$	0.09496	6.62	0.70	0.061
LP (3) F11	1.93662	$\sigma^*F10-C22$	0.08569	10.71	0.67	0.076
		$\sigma^*F12-C22$	0.09470	10.76	0.65	0.075
LP (2) F12	1.95317	$\sigma^*C17-C22$	0.09496	5.95	0.70	0.058
LP (3) F12	1.94060	$\sigma^*F10-C22$	0.08569	10.10	0.67	0.074
		$\sigma^*F11-C22$	0.08685	9.80	0.67	0.073
LP (1) N13	1.87877	$\sigma^*C16-C19$	0.09412	8.65	0.55	0.062
		$\sigma^*C16-C20$	0.08584	6.26	0.55	0.053
		$\sigma^*C17-C21$	0.10048	7.33	0.56	0.058
		$\sigma^*C17-C22$	0.09496	5.14	0.56	0.048
LP (1) N14	1.89714	$\sigma^*N13-C17$	0.04313	6.07	0.68	0.058
		$\sigma^*N15-C18$	0.02763	2.54	0.84	0.042
		$\sigma^*C16-C18$	0.06436	12.26	0.69	0.083
LP (1) N15	1.73410	$\pi^*N14-C18$	0.27940	58.63	0.29	0.117

G. NLO Analysis

The nonlinear optical properties of molecular materials are widely studied area, both experimentally and theoretically, as this would be a very promising advance for molecular electronics. It is known that in order to obtain highly active nonlinear optical materials, it is necessary to design microscopic entities with large hyperpolarizabilities [59-61]. In this study, in order to explore the NLO properties of midaflur, dipole moment (μ_i), polarizability (α_{ij}) and first-order hyperpolarizability (β_{ijk}) values were computed at B3LYP/6-311++G (d, p) level for gas, water and n-octanol environments. Here, each subscript of i, j, k, specifies the indices of the Cartesian axes x, y, z. Based on this information, using the data obtained from the Gaussian output files, the total dipole moment (μ_{tot}), mean polarizability (α_{tot}), anisotropic polarizability ($\Delta\alpha$) and mean first hyperpolarizability (β_{tot}) values were calculated according to the formulas given below (Equations 11-14) [62, 63].

$$\mu_{tot} = \sqrt{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + \mu_z^2)} \quad (11)$$

$$\alpha_{tot} = \frac{1}{3} (\alpha_{xx} + \alpha_{yy} + \alpha_{zz}) \quad (12)$$

$$\Delta\alpha = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\alpha_{xx} - \alpha_{yy})^2 + (\alpha_{yy} - \alpha_{zz})^2 + (\alpha_{zz} - \alpha_{xx})^2 + 6\alpha_{xz}^2 + 6\alpha_{xy}^2 + 6\alpha_{yz}^2]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

$$\beta_{tot} = [(\beta_{xxx} + \beta_{xyy} + \beta_{xzz})^2 + (\beta_{yyy} + \beta_{yzz} + \beta_{yxx})^2 + (\beta_{zzz} + \beta_{zxx} + \beta_{zyy})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

The data from the output files and the calculated values are listed in Table 6. The dependence of the dipole moment values on the solvent environment is clearly seen from Table 6. As the dielectric constant of the medium increased, the dipole moment also increased. Midaflur is highly polar in the x-direction compared to the other components ($\mu_x = 3.0726$ D (gas), 4.4871 D (n-octanol), 4.7809 D (water)). The total dipole moment values calculated at the B3LYP/6-311++G (d, p) theory level were found to be 3.6962 D, 5.2474 D and 5.6182 D for the gas, water and n-octanol phases, respectively.

Since the polarizability (α_{ij}) and first-order hyperpolarizability (β_{ijk}) values presented in the Gaussian output files are given in atomic units (a. u.), the calculated values are converted to electrostatic units (esu) (α : 1 a. u. = 0.1482×10^{-24} esu; β : 1 a. u. = 8.6393×10^{-33} esu) for easier interpretation [64]. Accordingly, the mean polarizability values (α_{tot}) were calculated as -17.98×10^{-24} esu, -18.01×10^{-24} esu and -18.02×10^{-24} esu for gas, n-octanol and water phases, respectively. It was observed that the anisotropic polarizability values ($\Delta\alpha$) increased

according to the polarity of the medium and were calculated as 3.24×10^{-24} esu (gas phase), 4.198×10^{-24} esu (n-octanol phase) and 4.274×10^{-24} esu (water phase). In addition, mean first-order hyperpolarizability values, which are significant parameters in determining the NLO property, were calculated as 321.6×10^{-33} esu for gas phase, 525.4×10^{-33} esu for n-octanol phase, and finally 562.7×10^{-33} esu for water phase. The effect of the solvent environment was also observed in these values. When the first hyperpolarizability value ($\chi_{tot} = 372.8 \times 10^{-33}$ esu) [65, 66] of the urea molecule, which is frequently used as a reference substance for the evaluation of the results in NLO property analysis studies, is compared with the calculation results of midaflur, it is seen that the water and n-octanol phase values are higher.

Table 6. Dipole moment, polarizability and first-order hyperpolarizability values according to changing dielectric media

	Dipole moment (D)				First Order Hyperpolarizability (a. u.)		
	gas	n-octanol	water		gas	n-octanol	water
μ_x	3.0726	4.4871	4.7809	χ_{xxx}	11.8102	22.7796	25.1148
μ_y	0.2870	0.9668	1.2287	χ_{xxy}	0.2120	1.6493	1.8607
μ_z	2.0344	2.5430	2.6828	χ_{xyy}	-0.2239	0.7932	1.0586
μ_{tot}	3.6962	5.2474	5.6182	χ_{yyy}	2.2386	2.5087	3.2367
Polarizability (a. u.)				χ_{xxz}	5.1097	8.4541	8.8101
α_{xx}	-126.4922	-128.0979	-128.0822	χ_{xyz}	-2.9204	-0.6376	-0.722
α_{xy}	-1.3313	-0.4486	-0.5321	χ_{yyz}	-8.4574	-8.5471	-8.8184
α_{yy}	-127.0261	-128.8750	-128.8279	χ_{zzz}	21.8106	29.0096	30.1493
α_{xz}	7.8080	10.8542	11.3475	χ_{yzz}	-2.5152	1.8543	2.3522
α_{yz}	-2.6069	-1.9316	-2.3525	χ_{zzz}	19.8030	30.053	31.8557
α_{zz}	-110.3675	-107.5905	-107.7763	χ_x	33.3969	52.5824	56.3227
α_{tot}	-121.2953	-121.5211	-121.5621	χ_y	-0.0650	6.012	7.450
$\Delta\alpha$	21.8518	28.3255	28.8405	χ_z	16.4553	29.96	31.8474
				χ_{tot}	37.2310	60.817	65.131

H. Molecular Electrostatic Potential (MEP)

MEP surfaces are descriptive of the three-dimensional charge distributions within the molecule. The MEP surface diagram of a particular molecule is a significant diagram in terms of representation of positive, negative and neutral electrostatic potential regions depending on the color gradation [67-69]. It is a method often used by computational chemists in order to forecast the reactive locations of electrophilic and nucleophilic attacks in the studied molecule. In this study, the molecular electrostatic potential (MEP), electrostatic potential (ESP), total density and contour maps of midaflur at B3LYP/6-311++G (d, p) level are shown in Figure 6. The 3D maps of MEP, ESP and total density of title molecule are in the ranges -24.2 kcal/mol (red) and 24.2 kcal/mol (blue), -5.9 kcal/mol (red) and 5.9 kcal/mol (blue), -0.26 kcal/mol (red) and 0.26 kcal/mol (blue) respectively. The electrostatic potential decreases according to the order blue > green > yellow > orange > red. As seen in the MEP map in Figure 6, the blue zones are largely localized around NH and NH₂. Furthermore, the red- and orange-colored zones are concentrated around the fluorine groups attached to the C21 and C22 carbons. In this way, the most convenient sites for nucleophilic and electrophilic attacks are predicted.

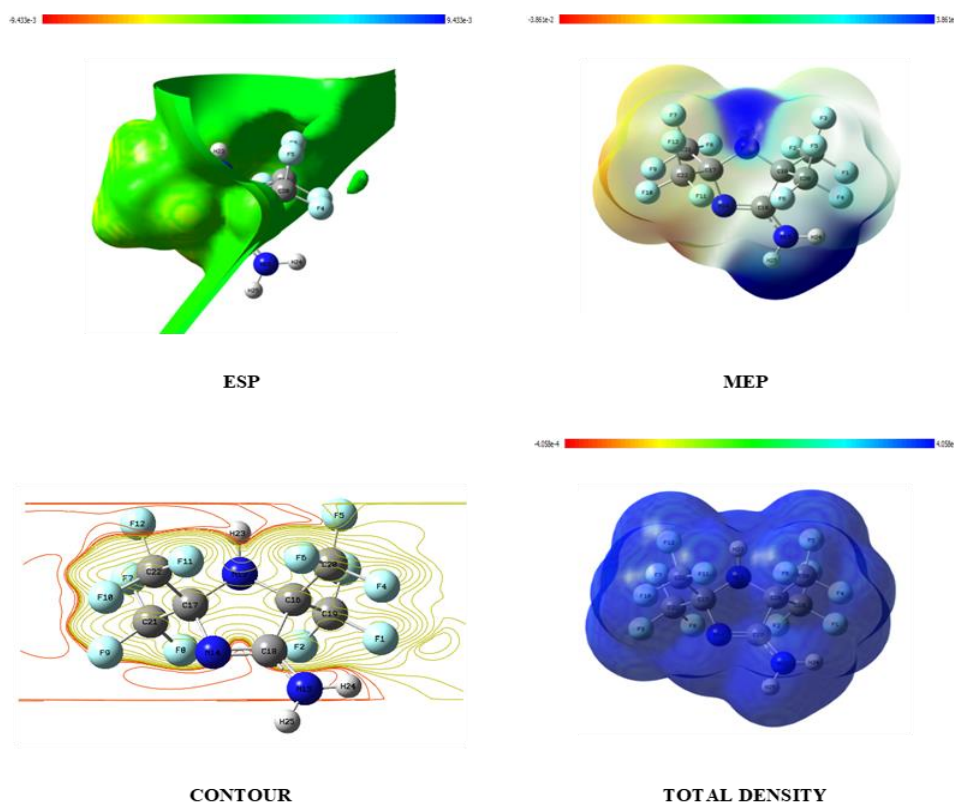


Figure 6. Molecular surfaces calculated at B3LYP/6-311++G (d, p) level of theory for water phase

VI. CONCLUSION

The discovery of highly active fluoropharmaceuticals has greatly accelerated the studies on the synthesis of new fluorinated heterocyclic compounds. It has been a source of inspiration for both experimental and theoretical studies. In this context, in this study, it was aimed to implement quantum chemical calculations in order to evaluate the structural, spectroscopic and electronic properties of midaflur, a perfluorinated N-heterocyclic compound, about which there are limited studies. In the first step, the determination of the stable tautomeric structure was performed by calculating the thermodynamic parameters ΔE , ΔH and ΔG using the B3LYP functional and the 6-31+G(d, p) basis set. The results acquired from these calculations confirmed the stable amino structure. Further calculations were continued by using the B3LYP and B3PW91 DFT functionals and the HF method with the basis sets 6-31G(d, p), 6-311G (d, p), 6-31++G(d, p) and 6-311++G(d, p). Geometric parameters for midaflur were found to have significant correlations of 99% in terms of bond length and 96% in terms of bond angle with the values available in the literature. Analysis results of the FT-IR spectrum of studied molecule were presented in tabular form. Mulliken atomic charges of each atom of midaflur have been determined and the changes on going from gas phase to solvent phase have been noted. In addition, the variation of the calculated quantum chemical descriptors, which helps to explain the stability and bioactivity, depending on the method and solvent phase was investigated. For the energy range values, the addition of diffuse functions to the basis sets in B3LYP and B3PW91 functionals did not significantly affect the results, while the values decreased in the HF method.

The commonly used method for determining lipophilicity, which is an important physicochemical parameter in pharmacology, is the determination of the n-octanol/water partition coefficient expressed as logP_{ow}. In this study, logP_{ow} estimation was made using Gibbs solvation free energy for each methodology. The closest result to the literature value was obtained at the B3LYP/6-31G (d, p) theory level. It was concluded that the predictive power of the computational methods increased in the following order: HF < B3PW91 < B3LYP. NPA and NBO of midaflur were analyzed to get detailed information about charge distribution and intramolecular interactions. According to the calculated results that were tabulated in Table 4, the strongest electron delocalization was observed between LP (1) N15 donor and π^* (N14-C18) acceptor orbitals, the stabilization energy was calculated as 58.63 kcalmol⁻¹. The striking point in the NLO properties calculated at the B3LYP/6-311++G (d,p)

theory level is the dependence of the dipole moment, polarizability and first order hyperpolarizability values on the solvent environment. Water and n-octanol phase values were found to be higher than the values of urea used as a reference substance in NLO studies. Finally, from results of electrostatic surface property analysis, the most convenient sites for nucleophilic and electrophilic attacks were predicted.

SUPPLEMENTARY MATERIALS

Table S1. Selected bond length values calculated at B3LYP, B3PW91, and HF

B3LYP						
Bond length (Å)	X-ray data	6-31G(d,p)	6-311G(d,p)	6-31+G(d,p)	6-31++G(d,p)	
N15-C18	1.315	1.350	1.346	1.348		1.348
C18-N14	1.285	1.284	1.281	1.286		1.286
N14-C17	1.432	1.439	1.436	1.436		1.436
C17-N13	1.448	1.467	1.465	1.464		1.465
N13-C16	1.431	1.442	1.439	1.440		1.440
C16-C18	1.528	1.540	1.542	1.546		1.546
C16-C19	1.539	1.554	1.559	1.565		1.565
C17-C21	1.529	1.557	1.562	1.569		1.568
C22-F10	1.301	1.337	1.335	1.340		1.340
C21-F7	1.340	1.349	1.348	1.353		1.353
C20-F6	1.334	1.340	1.337	1.342		1.342
C19-F1	1.323	1.360	1.357	1.361		1.361
R ²		0.9913	0.9906	0.9903		0.9905
B3PW91						
Bond length (Å)	X-ray data	6-31G(d,p)	6-311G(d,p)	6-31+G(d,p)	6-31++G(d,p)	6-311++G(d,p)
N15-C18	1.315	1.345	1.342	1.344	1.344	1.343
C18-N14	1.285	1.284	1.280	1.285	1.285	1.281
N14-C17	1.432	1.432	1.429	1.431	1.431	1.429
C17-N13	1.448	1.460	1.458	1.458	1.458	1.457
N13-C16	1.431	1.436	1.433	1.434	1.435	1.433
C16-C18	1.528	1.536	1.536	1.540	1.540	1.539
C16-C19	1.539	1.552	1.555	1.561	1.561	1.560
C17-C21	1.529	1.555	1.559	1.565	1.565	1.564
C22-F10	1.301	1.333	1.330	1.335	1.335	1.330
C21-F7	1.340	1.345	1.343	1.348	1.348	1.344
C20-F6	1.334	1.335	1.332	1.337	1.337	1.332
C19-F1	1.323	1.354	1.352	1.355	1.355	1.351
R ²		0.9915	0.9904	0.9902	0.9904	0.9897
HF						
Bond length (Å)	X-ray data	6-31G(d,p)	6-311G(d,p)	6-31++G(d,p)	6-311++G(d,p)	
N15-C18	1.315	1.338	1.338	1.339		1.340
C18-N14	1.285	1.262	1.259	1.263		1.259
N14-C17	1.432	1.428	1.427	1.428		1.427
C17-N13	1.448	1.451	1.450	1.450		1.450
N13-C16	1.431	1.431	1.431	1.432		1.432
C16-C18	1.528	1.533	1.534	1.536		1.537
C16-C19	1.539	1.543	1.545	1.548		1.549
C17-C21	1.529	1.544	1.546	1.549		1.550
C22-F10	1.301	1.311	1.306	1.312		1.306
C21-F7	1.340	1.321	1.317	1.322		1.317
C20-F6	1.334	1.312	1.306	1.312		1.307
C19-F1	1.323	1.326	1.321	1.326		1.321
R ²		0.9885	0.9862	0.9875		0.9851

Table S2. Selected bond angle values calculated at B3LYP, B3PW91, and HF

B3LYP						
Bond Angle (°)	X-ray data	6-31G(d,p)	6-311G(d,p)	6-31+G(d,p)	6-31++G(d,p)	
N15-C18-N14	124.8	125.1	125.1	124.8	124.8	124.8
N13-C16-C19	110.7	110.1	110.2	110.3	110.3	110.3
N13-C16-C20	111.0	112.0	112.1	112.2	112.2	112.2
C17-C22-F10	112.8	112.8	113.0	113.1	113.1	113.1
C17-C21-F9	112.1	112.1	112.3	112.5	112.5	112.5
C16-C20-F6	110.9	110.9	110.9	110.9	110.9	110.9
C16-C19-F1	112.2	111.5	111.7	111.8	111.8	111.8
F10-C22-F11	107.5	108.2	108.0	107.9	107.9	107.9
F7-C21-F8	106.1	108.1	107.8	107.8	107.8	107.8
F6-C20-F5	107.3	107.7	107.6	107.5	107.5	107.5
F1-C19-F2	108.3	107.2	107.1	107.0	107.0	107.0
R ²		0.9486	0.9622	0.9674		0.9664
B3PW91						
Bond Angle (°)	X-ray data	6-31G(d,p)	6-311G(d,p)	6-31+G(d,p)	6-31++G(d,p)	6-311++G(d,p)
N15-C18-N14	124.8	125.0	125.0	124.8	124.7	124.9
N13-C16-C19	110.7	110.2	110.3	110.3	110.3	110.3
N13-C16-C20	111.0	112.1	112.2	112.3	112.2	112.2
C17-C22-F10	112.8	112.8	113.0	113.1	113.1	113.1
C17-C21-F9	112.1	112.1	112.2	112.4	112.4	112.4
C16-C20-F6	110.9	110.9	110.1	110.9	110.9	110.8
C16-C19-F1	112.2	111.6	111.7	111.8	111.8	111.8
F10-C22-F11	107.5	108.1	107.9	107.9	107.9	107.9
F7-C21-F8	106.1	108.1	107.9	107.8	107.8	107.7
F6-C20-F5	107.3	107.7	107.5	107.6	107.5	107.5
F1-C19-F2	108.3	107.2	107.1	107.0	107.1	107.1
R ²		0.9494	0.9604	0.9641	0.9652	0.9646
HF						
Bond Angle (°)	X-ray data	6-31G(d,p)	6-311G(d,p)	6-31+G(d,p)	6-31++G(d,p)	6-311++G(d,p)
N15-C18-N14	124.8	125.1	125.1	124.9	125.0	125.0
N13-C16-C19	110.7	109.8	109.8	109.9	109.8	109.8
N13-C16-C20	111.0	112.1	112.1	112.1	112.1	112.1
C17-C22-F10	112.8	112.7	112.7	112.8	112.8	112.8
C17-C21-F9	112.1	112.1	112.2	112.0	112.3	112.3
C16-C20-F6	110.9	110.8	110.9	110.8	110.8	110.8
C16-C19-F1	112.2	111.7	111.7	111.8	111.8	111.8
F10-C22-F11	107.5	108.0	107.9	107.9	108.0	108.0
F7-C21-F8	106.1	107.9	107.8	107.8	107.7	107.7
F6-C20-F5	107.3	107.8	107.8	107.8	107.7	107.7
F1-C19-F2	108.3	107.1	107.1	107.1	107.1	107.1
R ²		0.9604	0.9628	0.9650		0.9641

Table S3. The calculated frequencies (cm⁻¹) and IR intensities of midafllur at B3LYP/6-311++G (d,p) level in gas phase

No	Assignments (PED%)	I _{IR}	Unscaled	Scaled
1	v _{as} N ₁₅ H (99)	88.4	3718	3562
2	vN ₁₃ H (100)	56.4	3617	3465
3	vN ₁₅ H (99)	105.6	3595	3444
4	v _{as} N ₁₄ C ₁₈ (81), sb (HN ₁₅ H) (11)	513.1	1725	1652
5	vN ₁₄ C ₁₈ (11), asb(H ₂₄ N ₁₅ C ₁₈) (11), sb(H ₂₅ N ₁₅ H ₂₄) (71)	25.5	1633	1605
6	sb(H ₂₃ N ₁₃ C ₁₇) (69)	70.8	1445	1420
7	v _{as} N ₁₄ C ₁₈ (36), sb(C ₁₈ N ₁₄ C ₁₇) (20)	65.7	1422	1398
8	v (C ₁₇ C ₂₁ + C ₁₇ C ₂₂) (42)	72.9	1290	1268
9	vC ₁₆ C ₁₉ (51)	256.7	1262	1240
10	vC ₂₂ F (11), vCC (24)	397.4	1247	1226
11	vC ₁₉ F (19), v(C ₂₁ F+C ₂₂ F) (18)	12.5	1241	1220
12	vC ₁₆ C ₁₉ (33)	359.1	1236	1215
13	v _{as} C ₂₀ F (40)	208.0	1227	1206
14	vC ₂₀ F (11), v(C ₂₁ F+C ₂₂ F) (26)	222.4	1213	1193
15	v _{as} (N ₁₃ C ₁₆ + N ₁₄ C ₁₇) (50)	69.3	1191	1171
16	v _{as} N ₁₄ C ₁₇ (42), sb (H ₂₄ N ₁₅ C ₁₈) (20)	391.0	1180	1160
17	v _{as} C ₂₁ F (52), v _{as} N ₁₃ C ₁₆ (10)	78.1	1158	1139
18	vC ₂₁ F (11), v _{as} N ₁₃ C ₁₆ (50)	276.9	1153	1134

Table S3. Continues

19	vC ₂₀ F (56)	21.3	1144	1124
20	v _{as} N ₁₄ C ₁₇ (12), v _{as} C ₁₉ F ₁ (20)	158.7	1120	1101
21	v (C ₂₁ F + C ₂₂ F) (54)	25.9	1118	1099
22	vC ₁₉ F ₁ (24)	131.0	1110	1092
23	v _{as} (N ₁₄ C ₁₈ +N ₁₅ C ₁₈) (10), v _{as} (N ₁₃ C ₁₇ +N ₁₄ C ₁₇) (15), asb(C ₁₆ N ₁₃ C ₁₇) (11)	72.5	1065	1047
24	sb(C ₁₆ N ₁₃ C ₁₇) (13), v _{as} N ₁₄ C ₁₇ (11), v _{as} C ₁₆ C ₁₉ (17), asb(H ₂₄ N ₁₅ C ₁₈) (17)	37.8	1020	1003
25	vC ₁₆ C (25), opb CNCC (15)	194.2	966	950
26	v _{as} CF (34), opb CNNC (14)	32.1	958	942
27	v(N ₁₃ C ₁₇ +N ₁₄ C ₁₇) (41), sb(N ₁₄ C ₁₇ N ₁₃) (25)	17.6	869	854
28	v _{as} C ₁₉ F ₁ (10), asb(N ₁₄ C ₁₇ N ₁₃) (11)	5.8	760	748
29	v(C ₂₁ F+C ₂₂ F) (11), vC ₁₇ N ₁₃ (13)	2.0	745	733
30	v _{as} C ₁₆ C (20), opb NCNC (15)	12.6	731	719
31	sb(C ₁₈ N ₁₄ C ₁₇) (14), sb(F ₉ C ₂₁ F ₈) (10)	47.6	719	707
32	vCF (16), asb(C ₁₈ N ₁₄ C ₁₇) (10), asb(F ₁₁ C ₂₂ F ₁₀) (10)	40.5	713	702
33	v (N ₁₃ C ₁₆ + N ₁₄ C ₁₇) (18), sb(N ₁₅ C ₁₈ N ₁₄) (15), opb CCCC (14)	3.3	663	652
34	opb NCNC (44)	25.9	649	638
35	opb FCFC (12)	0.3	568	559
36	asb(F ₉ C ₂₁ F ₈) (21), opb FCFC (19)	0.4	560	551
37	sb(F ₁₁ C ₂₂ F ₁₀) (13), opb FCFC (14)	0.3	557	548
38	sb FCF (16)	1.3	554	545
39	sb FCF (12), opb FCFC (10)	0.8	552	543
40	asb FCF (12)	12.1	530	521
41	opb FCFC	1.2	526	518
42	sb(N ₁₅ C ₁₈ N ₁₄) (10), sb FCF (25), asb FCF (11)	2.0	509	500
43	χHNCC (62)	4.0	485	477
44	χHNCC (34)	63.0	469	461
45	sb(C ₁₈ N ₁₄ C ₁₇) (11)	23.2	437	430
46	opb FCFC	4.8	397	391
47	χHNCC (18), opb CNCC (12)	28.7	382	376
48	vCC (11), asbCCN (10), sbCCN (12), opb CNNC (15)	2.5	374	368
49	sb FCF	0.1	337	331
50	vCC (10)	6.5	322	317
51	asb FCF (12), χHNCC (19), opb FCFC (16)	41.9	310	305
52	χHNCC (20)	50.4	301	296
53	sb FCF (11), asb FCF (11), χHNCC (16), opb FCFC (11), opb FCFC (16)	28.2	292	287
54	sb FCF (14), opb FCFC (11)	8.2	291	286
55	χHNCC (16), opb FCFC (14)	31.2	287	283
56	opb FCFC (12), asb FCFC (12)	10.6	271	267
57	vCC (24), sbCNC (12)	3.6	268	264
58	opb CCCC (35)	1.5	215	212
59	asb CCC (18), sb CCN (14), opb FCFC (11), opb CNCC (11)	1.2	167	165
60	sb C ₂₁ CN (25), sb C ₂₂ CN (11), opb FCFC (12)	1.8	159	157
61	sb CCC (47), opb FCFC (12)	2.2	157	155
62	opb CCCC (46)	0.2	153	151
63	opb CNNC (49), opb CNCC (10)	1.8	123	122
64	opb CNNC (13), χCNCN (52)	0.3	88	87
65	χCCCC (89)	0.1	70	69
66	sb CCCC (14), asb CCCC (65)	0.2	65	64
67	asb CCC (13), sb CCN (13), asb CNNC (16), sb CNNC (13)	0.2	58	57
68	χCCCC (90)	0.1	40	40
69	χCCCC (91)	0.1	29	29

v: symmetric stretching, v_{as}: asymmetric stretching, χ: torsion, ipb in plane bending, opb: out of plane bending, sb: symmetric bending, asb: asymmetric bending

Table S4. Mulliken atomic charges of Midaflur

Atom	B3LYP/6-311++G(d,p)			B3PW91/6-311++G(d,p)			HF/6-311++G(d,p)		
	Gas	Water	n-Octanol	Gas	Water	n-Octanol	Gas	Water	n-Octanol
F1	-0.05483	-0.05695	-0.05677	-0.00782	-0.00695	-0.00741	-0.10512	-0.10726	-0.10696
F2	-0.02279	-0.04001	-0.03723	-0.00001	-0.01463	-0.01232	-0.09078	-0.10805	-0.10527
F3	-0.04799	-0.06009	-0.05823	-0.01646	-0.03310	-0.03037	-0.11412	-0.12602	-0.12419
F4	-0.02017	-0.02672	-0.02568	0.00605	0.00794	0.00758	-0.07945	-0.08603	-0.08489
F5	-0.04731	-0.05620	-0.05480	0.00424	-0.00738	-0.00549	-0.10639	-0.11527	-0.11385
F6	0.00365	-0.01528	-0.01195	0.00913	0.00190	0.00295	-0.06385	-0.08240	-0.07912
F7	-0.05664	-0.06905	-0.06757	-0.02871	-0.04529	-0.04288	-0.12011	-0.13229	-0.13083
F8	-0.01841	-0.03047	-0.02875	0.00587	-0.00365	-0.00233	-0.08363	-0.09567	-0.09395
F9	-0.04569	-0.06546	-0.06235	-0.01853	-0.03857	-0.03545	-0.10648	-0.12655	-0.12340
F10	-0.03562	-0.05362	-0.05061	-0.00781	-0.02848	-0.02498	-0.09971	-0.11873	-0.11558
F11	0.00291	-0.01343	-0.01070	0.02576	0.01862	0.01963	-0.06317	-0.07896	-0.07632
F12	-0.04515	-0.05460	-0.05340	-0.00195	-0.01313	-0.01159	-0.10051	-0.10993	-0.10872
N13	0.24084	0.23365	0.23125	0.42706	0.35433	0.36772	0.18404	0.18136	0.17866
N14	0.38060	0.28521	0.30212	0.40535	0.28615	0.30695	0.39388	0.28865	0.30710
N15	-0.25627	-0.31305	-0.30467	-0.31763	-0.37072	-0.36301	-0.46099	-0.51281	-0.50508
C16	-0.87062	-0.85169	-0.85531	-1.30078	-1.29456	-1.29558	-0.58424	-0.58099	-0.58252
C17	-4.05797	-3.94429	-3.96336	-4.20902	-4.03579	-4.06686	-4.51082	-4.40054	-4.41991
C18	0.36673	0.36626	0.36758	0.45979	0.46386	0.46404	0.56751	0.58279	0.58177
C19	0.58083	0.59214	0.59118	0.74546	0.75931	0.75775	0.71632	0.73354	0.73146
C20	0.67752	0.69086	0.68807	0.53819	0.56332	0.55839	0.81311	0.83011	0.82680
C21	1.14469	1.14308	1.14365	1.23659	1.21291	1.21743	1.41917	1.41750	1.41825
C22	1.17438	1.17066	1.17086	0.94478	0.94235	0.94259	1.45105	1.45190	1.45171
H23	0.37093	0.42977	0.42126	0.41696	0.49547	0.48146	0.43567	0.49171	0.48356
H24	0.31644	0.36478	0.35729	0.33290	0.37889	0.37132	0.35073	0.39574	0.38883
H25	0.31997	0.37451	0.36812	0.35057	0.40720	0.40045	0.35787	0.40821	0.40244

REFERENCES

- [1] Dua, R., Shrivastava, S., Sonwane, S. K., & Srivastava, S. K. (2011). Pharmacological significance of synthetic heterocycles scaffold: a review. *Advances in Biological Research*, 5(3), 120-144.
- [2] Purser, S., Moore, P. R., Swallow, S., & Gouverneur, V. (2008). Fluorine in medicinal chemistry. *Chemical Society Reviews*, 37, 320–330.
- [3] Tri, N. N., Hailu, Y. M., Duong, L. V., & Nguyen, M. T. (2020). Influence of fluorination on energetic parameters of silole, phosphole, thiophene, oligomers of silole and related acenes. *Journal of Fluorine Chemistry*, 240, 109665.
- [4] Bogdanov, A. V., Zaripova, I. F., Voloshina, A. D., Sapunova, A. S., Kulik, N. V., Tsivunina, I. V., Dobrynin, A. B., & Mironov, V. F. (2019). Isatin derivatives bearing a fluorine atom. Part 1: Synthesis, hemotoxicity and antimicrobial activity evaluation of fluoro-benzylated water-soluble pyridinium isatin-3-acylhydrazones. *Journal of Fluorine Chemistry*, 227, 109345.
- [5] Hong, F., Li, H., Zhu, D., Xia, Z., Zhang, H., Wang, H., & Zeng, Z. (2014). Piperidine and 3,3,4,4,5,5-hexafluoropiperidine as terminal groups: Syntheses and properties as new liquid crystals. *Journal of Fluorine Chemistry*, 168, 61–68.
- [6] Lipunova, G. N., Nosova, E. V., Charushin, V. N., & Chupakhin, O. N. (2016). Fluorine-containing indazoles: synthesis and biological activity. *Journal of Fluorine Chemistry*, 192, 1–21.
- [7] Uneyama, K., & Sasaki, K. (2009). *Fluorinated heterocyclic compounds: synthesis, chemistry, and applications*. Edited by Viacheslav A. Petrov, John Wiley & Sons, Inc. Publishers, New Jersey.

- [8] Uneyama, K. (2006). *Fluorine in drug designs. Organofluorine Chemistry*; Blackwell Publishing: Oxford, UK.
- [9] Inoue, M., Sumii, Y., & Shibata, N. (2020). Contribution of organofluorine compounds to pharmaceuticals. *ACS Omega*, 5, 10633–10640.
- [10] Middleton, W. J., & Krespan, C. G. (1970). Fluorinated aminoimidazolines. Synthesis and determination of tautomeric structure. *Journal of Organic Chemistry*, 35, 1480-1485.
- [11] Guggenberger, L. J. (1973). The crystal structure of 4-amino-2,2,5,5-tetrakis(trifluoromethyl)-3-imidazoline. *Acta Crystallographica Section B*, B29, 2110-2114.
- [12] Arora, S. K. (1981). Structure of a complex of midafalur (a central nervous system depressant) and dimethyl sulfoxide. *Acta Crystallographica Section B*, B37, 2052-2055.
- [13] Levine, I. M., Jossmann, P. B., Friend, D. G., & DeAngelis, V. (1968). Effect of 5-imino-2,2,4,4-tetrakis (trifluoromethyl) imidazolidine (EXP 338) on spasticity: A quantitative evaluation. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 9(4), 448-455.
- [14] Clark, R., Lynes, T. E., Price, W. A., Smith, D. H., Woodward, J. K., Marvel, J. P., V.G. & Vernier, V. G. (1971). The pharmacology and toxicology of midafalur. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 18, 917-943.
- [15] Borges, R. M., Colby, S. M., Das, S., Edison, A. S., Fiehn, O., Kind, T., Lee, J., Merrill, A. T., Merz, K. M. Jr., Metz, T. O., Nunez, J. R., Tantillo, D. J., Wang, L. P., Wang, S., & Renslow, R. S. (2021). Quantum chemistry calculations for metabolomics. *Chemical Reviews*, 121(10), 5633–5670.
- [16] Feizi-Dehghanabi, M., Dehghanian, E., & Mansouri-Torshizi, H. (2021). DNA/BSA binding affinity studies of new Pd (II) complex with S-S and N-N donor mixed ligands via experimental insight and molecular simulation: Preliminary antitumor activity, lipophilicity and DFT perspective. *Journal of Molecular Liquids*, 344(1), 117853.
- [17] Serdaroglu, G., & Elik, M. (2018). A computational study predicting the chemical reactivity behavior of 1-substituted 9-ethyl- β CCM derivatives: DFT- based quantum chemical descriptors. *Turkish Computational and Theoretical Chemistry*, 2(1), 1-11.
- [18] Sayın, K., & Üngördü, A., (2019). Investigations of structural, spectral and electronic properties of enrofloxacin and boron complexes via quantum chemical calculation and molecular docking. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 220, 117102.
- [19] Serdaroglu, G., & Ortiz, J. V. (2017). Ab initio calculations on some antiepileptic drugs such as phenytoin, phenobarbital, ethosuximide and carbamazepine. *Structural Chemistry*, 28, 957-964.
- [20] Üngördü, A., & Sayın, K. (2019). Quantum chemical calculations on sparfloracin and boron complexes. *Chemical Physics Letters*, 733, 136677.
- [21] Feizi-Dehghanabi, M., Dehghanian, E., & Mansouri-Torshizi, H. (2021). Synthesis and characterization of Pd (II) antitumor complex, DFT calculation and DNA/BSA binding insight through the combined experimental and theoretical aspects. *Journal of Molecular Structure*, 1240, 130535.
- [22] Frisch, M. J., Trucks, G. W., Schlegel, H. B., Scuseria, G. E., Robb, M. A., Cheeseman, J. R., Scalmani, G., Barone, V., Petersson, G. A., Nakatsuji, H., Li, X., Caricato, M., Marenich, A. V., Bloino, J., Janesko, B. G., Gomperts, R., Mennucci, B., Hratchian, H. P., Ortiz, J.V., Izmaylov, A. F., Sonnenberg, J. L., Williams-Young, D., Ding, F., Lipparini, F., Egidi, F., Goings, J., Peng, B., Petrone, A., Henderson, T., Ranasinghe, D., Zakrzewski, V. G., Gao, J., Rega, N., Zheng, G., Liang, W., Hada, M., Ehara, M., Toyota, K., Fukuda, R., Hasegawa, J., Ishida, M., Nakajima, T., Honda, Y., Kitao, O., Nakai, H., Vreven, T., Throssell, K., Montgomery, J. A. Jr., Peralta, J. E., Ogliaro, F., Bearpark, M. J., Heyd, J. J., Brothers, E. N., Kudin, K. N., Staroverov, V. N., Keith, T. A., Kobayashi, R., Normand, J., Raghavachari, K., Rendell, A. P., Burant, J. C., Iyengar, S. S., Tomasi, J., Cossi, M., Millam, J. M., Klene, M., Adamo, C., Cammi, R., Ochterski, J. W., Martin, R. L., Morokuma, K., Farkas, O., Foresman, J. B., Fox, D. J., Gaussian 09, Rev.D.01, Gaussian, Inc., Wallingford CT, 2009.
- [23] Becke, A. D. (1993). A new mixing of Hartree–Fock and local density functional theories. *Journal of Chemical Physics*, 98, 1372–1377.
- [24] Lee, C., Yang, W., & Parr, R. G. (1988). Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. *Physical Review B*, 37, 785–789.
- [25] Becke, A. D. (1993). Density- functional thermochemistry. III. The role of exact exchange. *Journal of Chemical Physics*, 98: 5648–5652.
- [26] Perdew, J. P., Chevary, J. A., Vosko, S. H., Jackson, K. A., Pederson, M. R., Singh, D. J., & Fiolhais, C. (1992). Atoms, molecules, solids, and surfaces: Applications of the generalized gradient approximation for exchange and correlation. *Physical Review B*, 46, 6671-6687.

- [27] Roothaan, C. C. J. (1951). New Developments in Molecular Orbital Theory. *Reviews of Modern Physics*, 23, 69-89.
- [28] Jamroz, M. H. Vibrational Energy Distribution Analysis VEDA 4, Warsaw, 2004–2010.
- [29] Dennington, R., Keith, T., Millam, J., Gauss View, Version 5., Semichem Inc., Shawnee Mission, KS. 2009.
- [30] O'Boyle, N. M., Tenderholt, A. L., Langer, K. M. (2008). Cclib: A library for package-independent computational chemistry algorithms. *Journal of Computational Chemistry*, 29, 839-845.
- [31] Marenich, A. V., Cramer, C. J., & Truhlar, D. G. (2009). Universal solvation model based on solute electron density and on a continuum model of the solvent defined by the bulk dielectric constant and atomic surface tensions. *Journal of Physical Chemistry B*, 113(18), 6378-6396.
- [32] Janeo, S., Reenu, Saroa, A., Kumar, R., & Kaur, H. (2022). Computational investigation of bioactive 2,3-diaryl quinolines using DFT method: FT- IR, NMR spectra, NBO, NLO, HOMO-LUMO transitions, and quantum-chemical properties. *Journal of Molecular Structure*, 1253, 132285.
- [33] Sundaraganesan, N., Ilakiamani, S., Salem, H., Wojciechowski, P. M., & Michalska, D. (2005). FT-Raman and FT-IR spectra, vibrational assignments and density functional studies of 5-bromo-2-nitropyridine. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 61, 2995–3001.
- [34] Mulliken, R. S. (1955). Electronic Population Analysis on LCAO-MO Molecular Wave Functions. I. *Journal of Chemical Physics*, 23, 1833-1840.
- [35] Fukui, K. (1982). The Role of frontier orbitals in chemical reactions. *Science*, 218, 747–754.
- [36] Fradi, T., Nouredine, O., Taheur, F. B., Guergueb, M., Nasri, S., Amiri, N., Almahri, A., Roisnel, T., Guerineau, V., Issoui, N., & Nasri, H. (2021). New DMAP meso-arylporphyrin Magnesium (II) complex. spectroscopic, cyclic voltammetry and X-ray molecular structure characterization. DFT, DOS and MEP calculations and Antioxidant and Antifungal activities. *Journal of Molecular Structure*, 1236, 130299.
- [37] Eşme, A. (2017). Theoretical studies of molecular structure, spectroscopic, electronic and NLO investigations of Oxamyl. *Journal of Balıkesir University Institute of Science and Technology*, 19(2), 99-115.
- [38] Koopmans, T. (1934). Über die Zuordnung von Wellenfunktionen und Eigenwerten zu den einzelnen Elektronen eines Atoms. *Physica*, 1, 104-113.
- [39] Parr, R. G., & Pearson, R. G. (1983). Absolute hardness: companion parameter to absolute electronegativity. *Journal of the American Chemical Society*, 105, 7512-7516.
- [40] Pearson, R. G. (1986). Absolute electronegativity and hardness correlated with the molecular orbital theory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 83, 8440-8441.
- [41] Parr, R. G., Szentpaly, L. V., & Liu, S. (1999). Electrophilicity Index. *Journal of the American Chemical Society*, 121, 1922-1924.
- [42] Perdew, J. P., & Levy, M. (1983). Physical content of the exact Kohn-Sham orbital energies: band gaps and derivative discontinuities. *Physical Review Letters*, 51(20), 1884-1887.
- [43] Perdew, J. P., Parr, R. G., Levy, M., & Balduz, J. L. Jr. (1982). Density functional theory for fractional particle number: derivative discontinuities of the energy. *Physical Review Letters*, 49(23), 1691-1694.
- [44] Clark, T., Chandrasekhar, J., Spitznagel, G. W., & Schleyer, P. V. R. (1983). Efficient diffuse function-augmented basis sets for anion calculations. III.* The 3-21+G basis set for first-row elements, Li-F. *Journal of Computational Chemistry*, 4, 294-301.
- [45] Guthrie, J. P. (2009). A blind challenge for computational solvation free energies: introduction and overview. *Journal of Physical Chemistry B*, 113, 4501–4507.
- [46] Klimovich, P. V., & Mobley, D. L. (2010). Predicting hydration free energies using all-atom molecular dynamics simulations and multiple starting conformations. *Journal of Computer-Aided Molecular Design*, 24, 307–316.
- [47] Matos, G. D. R., Kyu, D. Y., Loeffler, H. H., Chodera, J. D., Shirts, M. R., & Mobley, D. L. (2017). Approaches for calculating solvation free energies and enthalpies demonstrated with an update of the FreeSolv database. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 62(5), 1559–1569.
- [48] Michalík, M., & Lukeš, V. (2016). The validation of quantum chemical lipophilicity prediction of alcohols. *Acta Chimica Slovaca*, 9(2), 89-94.
- [49] Elik, M., & Serdaroglu, G. (2017). A computational study of 1-substituted methyl 9-methyl-9H-pyrido[3,4-b]indole-3-carboxylate: quantum chemical descriptors, FMO and NBO analysis. *Cumhuriyet Science Journal*, 38(4), 138-155.
- [50] Serdaroglu, G., & Elik, M. (2017). DFT based quantum chemical descriptors of 1-substituted TH β C, DH β C, β C derivatives. *Cumhuriyet Science Journal*, 38(4), 647-660.
- [51] Van De Waterbeemd, H., & Gifford, E. (2003). ADMET in silico modelling: towards prediction paradise?. *Nature Reviews Drug Discovery*, 2(3), 192-204.

- [52] Van de Waterbeemd, H., Smith, D. A., & Jones, B. C. (2001). Lipophilicity in PK design: methyl, ethyl, futile. *Journal of Computer-Aided Molecular Design*, 15, 273-286.
- [53] Foresman, J. B., & Frisch, Æ. (2015). *Exploring chemistry with electronic structure methods*, third edition, Gaussian, Inc. Wallingford, CT USA.
- [54] Bohnert, T., & Prakash, C. (2012). ADME profiling in drug discovery and development: an overview. *Encyclopedia of Drug Metabolism and Interactions*, 1-35.
- [55] Garrido, N. M., Queimada, A. J., Jorge, M., Macedo, E. A., Ioannis, G., & Economou, I. G. (2009). 1-Octanol/water partition coefficients of n-alkanes from molecular simulations of absolute solvation free energies. *Journal of Chemical Theory and Computation*, 5, 2436-2446.
- [56] Hansch, C., Björkroth, J. P., & Leo, A. (1987). Hydrophobicity and central nervous system agents: on the principle of minimal hydrophobicity in drug design. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 76(9), 663-687.
- [57] Weinhold, F., Landis, C. R., & Glendening, E. D. (2016). What is NBO analysis and how is it useful?. *International Reviews in Physical Chemistry*, 35(3), 399-440.
- [58] Reed, A. E., Curtiss, L. A., & Weinhold, F. (1988). Intermolecular interactions from a natural bond orbital, donor-acceptor viewpoint. *Chemical Reviews*, 88(6), 899-926.
- [59] Hurst, M., & Munn, R. W. (1989). *In Organic Materials for Nonlinear Optics*; R.A. Hann, D. Bloor, Eds.; The Royal Society of Chemistry: London.
- [60] Garza, A. J., Osman, O. I., Asiri, A. M., & Scuseria, G. E. (2015). Can gap tuning schemes of long-range corrected hybrid functionals improve the description of hyperpolarizabilities?. *Journal of Physical Chemistry B*, 119, 1202-1212.
- [61] Rajeshirke, M., & Sekar, N. (2018). NLO properties of ester containing fluorescent carbazole based styryl dyes-consolidated spectroscopic and DFT approach. *Optical Materials*, 76, 191-209.
- [62] Abraham, J. P., Sajjan, D., Hubert, I. J., & Jayakumar, V. S. (2008). Molecular structure, spectroscopic studies and first-order molecular hyperpolarizabilities of p-amino acetanilide. *Spectrochimica Acta, Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 71, 355-367.
- [63] Karamanis, P., Pouchan, C., & Maroulis, G. (2008). Structure, stability, dipole polarizability and differential polarizability in small gallium arsenide clusters from all-electron ab initio and density-functional-theory calculations. *Physical Review A*, 77, 013201-013203.
- [64] Ahmed, A. B., Feki, H., Abid, Y., Boughzala, H., & Mlayah, A. (2008). Structural, vibrational and theoretical studies of l-histidine bromide. *Journal of Molecular Structure*, 888(1-3), 180-186.
- [65] Sethi, A., & Prakash, R. (2015). Novel synthetic ester of Brassicasterol, DFT investigation including NBO, NLO response, reactivity descriptor and its intramolecular interactions analyzed by AIM theory. *Journal of Molecular Structure*, 1083, 72-81.
- [66] Shahid, M., Salim, M., Khalid, M., Tahir, M. N., Khan, M. U., & Braga, A. A. C. (2018). Synthetic, XRD, non-covalent interactions and solvent dependent nonlinear optical studies of sulfadiazine-ortho-vanillin schiff base: (E)-4-((2-hydroxy-3-methoxy- benzylidene) amino)-N-(pyrimidin-2-yl) benzene-sulfonamide. *Journal of Molecular Structure*, 1161, 66-75.
- [67] Murray, J. S., & Politzer, P. (2011). The electrostatic potential: an overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Molecular Science*, 1, 153-322.
- [68] Murray, J., & Sen, K. (1996). *Molecular electrostatic potentials: concepts and applications*, 1 st edition, Elsevier, Amsterdam.
- [69] Scrocco, E., & Tomasi, J. (1978). Electronic molecular structure, reactivity and intermolecular forces: a heuristic interpretation by means of electrostatic molecular potentials. *Advances in Quantum Chemistry*, 11, 115-193.

Araştırma Makalesi–Research Article

Optimization of Welding Parameters of AISI 431 and AISI 1020 Joints Joined by Friction Welding Using Taguchi Method

Taguchi Yöntemi Kullanılarak Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilen AISI 431 ve AISI 1020 Bağlantılarının Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu

Mehmet Şükrü Adin^{1*}, Bahattin İscan², Şehmus Baday³

Geliş / Received: 19/02/2022

Revize / Revised: 18/05/2022

Kabul / Accepted: 20/05/2022

ABSTRACT

Martensitic stainless steel AISI 431 and low carbon steel AISI 1020 are materials used together in many different industries. However, important problems are encountered when welding (fusion welding) these materials to each other. For this reason, friction welding process (Solid-state welding) is used to join these dissimilar metals. There are very few studies on joining these materials with friction welding. Therefore, the optimization of the welding parameters used in joining these dissimilar steel pairs with friction welding is of great important. In addition, the effects of the factors dependent on friction welding parameters need to be well understood. In this study, AISI 431 and AISI 1020 steel bars were successfully joined by friction welding, and the effects of welding parameters on tensile strength and axial shortening were investigated, and welding parameters were optimized using Taguchi method to obtain quality weld joints. The experimental results of the study showed that the highest tensile strength (573.32 MPa) of the joints was 54.53%, higher than the lowest tensile strength (370.99 MPa), the highest axial shortening (23.18 mm) was 650.16%, higher than the lowest axial shortening (3.09 mm). The optimal parameters for average axial shortening and average tensile strength were determined as A3B1C3 and A3B3C2; and the highest percentage contribution values for axial shortening and tensile strength were found to be 51.55% (rotating speed) and 63.90% (rotating speed); and R^2 values for the average axial shortening and average tensile strengths were found to be 97% and 99.3%, respectively.

Keywords- *Friction Welding, Optimization, Taguchi Method, AISI 431, AISI 1020*

ÖZ

Martensitik paslanmaz çelik AISI 431 ve düşük karbonlu çelik AISI 1020 birçok farklı endüstride birlikte kullanılan malzemelerdir. Ancak bu malzemeleri kaynak ederken (Fusion welding) önemli sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle, birbirine benzemeyen bu metalleri birleştirmek için sürtünme kaynağı işlemi (Solid-state welding) kullanılmaktadır. Bu malzemelerin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi konusunda çok az çalışma bulunmaktadır. Bu yüzden, birbirine benzemeyen bu çelik çiftlerinin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesinde kullanılan kaynak parametrelerinin optimizasyonu büyük önem taşımaktadır. Ayrıca sürtünme kaynağı parametrelerine bağlı faktörlerin etkilerinin iyi anlaşılması gerekmektedir. Bu çalışmada, AISI 431 ve AISI 1020 çelik çubuklar sürtünme kaynağı ile başarılı bir şekilde birleştirilmiş, kaynak parametrelerinin çekme

^{1*}Corresponding author contact: mehmetsukru.adin@batman.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2307-9669>)

Department of Mechanical Engineering, Batman University, Batman, Turkey

²Contact: bahattin.iscan@batman.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-6100-1555>)

Department of Automotive Technologies, Batman University, Batman, Turkey

³Contact: sehmus.baday@batman.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-4208-8779>)

Department of Machinery and Metal Technologies, Batman University, Batman, Turkey

mukavemeti ve eksenel kısalma üzerindeki etkileri araştırılmış ve kaliteli kaynak bağlantıları elde etmek için Taguchi yöntemi kullanılarak kaynak parametreleri optimize edilmiştir. Çalışmanın deneysel sonuçları, bağlantıların en yüksek çekme dayanımının (573.32 MPa) %54.53, en düşük çekme dayanımından (370.99 MPa) daha yüksek olduğunu, en yüksek eksenel kısalmanın (23.18 mm) %650.16, en düşük eksenel kısalmadan (3,09 mm) daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ortalama eksenel kısalma ve ortalama çekme mukavemeti için optimal parametreler A3B1C3 ve A3B3C2 olarak belirlendi; ve sırasıyla, eksenel kısalma ve çekme mukavemeti için en yüksek yüzde katkıdeğerleri %51.55 (dönme hızı) ve %63.90 (dönme hızı); ortalama eksenel kısalma ve ortalama çekme dayanımları için R^2 değerleri %97 ve %99.3 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler- *Sürtünme Kaynağı, Optimizasyon, Taguchi Yöntemi, AISI 431, AISI 1020*

I. INTRODUCTION

Joining of metals is an important requirement in today's manufacturing industries. Therefore, the joining process should be safe, high quality and cost-effective in line with the demand of the manufacturing industry. The most commonly used method for this purpose is welding method. Welding is a widely used technique for joining dissimilar metals. However, due to different properties of the materials such as chemical, thermal and mechanical, traditional welding process (fusion welding) cannot be of the desired quality. In such cases, the friction welding process (Solid-state welding) is used to join dissimilar metals [1-5]. Friction welding method is one of the leading welding techniques that joins dissimilar metals with high quality. In friction welding method, not using materials that cause extra costs such as shielding gases, welding guns and electrodes compared to traditional welding methods present remarkable advantages. This welding method is used in many different industries such as aviation, marine and automotive. Moreover, it has many positive aspects such as easy applicability to dissimilar metals, ease processing and short processing time [4-7].

Stainless steels and low carbon steels are materials used together in many different industries (energy, aviation, automotive, etc.). These steels are used by joining with the help of friction welding methods according to the needs of the places of use. However, important problems are encountered when welding these materials to each other. One of the most important problems that arises during the welding of stainless steels and carbon steels with friction welding method is the possibility of carbide formation in the fusion zone due to high carbon ratio in carbon steels. Carbide formations in the fusion zone will increase the hardness and brittleness of the weld zone and eventually cause cracking. Therefore, in order for the welding process to be of the desired quality, the welding parameters of friction welding must be specially optimized for dissimilar steels (stainless steel and low carbon steel) [8-11].

Low carbon steel AISI 1020 is one of the widely used steel materials due to its many advantages such as low carbon content, good mechanical properties and low cost. These types of steel are found in many different industries, from automotive to aerospace [12-14]. Martensitic stainless steels are widely used materials due to their excellent properties such as high strength, good ductility, corrosion resistance and toughness. These steels are used in many different and wide industrial fields such as chemistry, medicine, automotive and aerospace. Depending on specific application fields they are used, these types of steels can be applied heat treatment to obtain different mechanical properties. This feature provides considerable flexibility to the user. One of the most remarkable of these steels is martensitic stainless steel AISI 431 [8,15,16].

AISI 431 and AISI 1020 steels are used in various industries. However, there are very few studies on joining these materials with friction welding. Therefore, the optimization of the welding parameters used in joining these dissimilar steel pairs with friction welding is of great importance. In addition, the effects of the factors depending on friction welding parameters need to be well understood.

In a study performed by Li et al. [17], they investigated the heat generation and atomic diffusion behaviour during friction welding. In their study with K61 and Ti alloy, they stated that the friction power increases with the augmentation of rotational speed or axial pressure. In addition, they exhibited that the most important factor during friction welding is the joint temperature. Ren et al. [18] concluded that hot deformation behaviours during friction welding (with martensitic stainless steel AISI 420) are affected by parameters such as degree of heat generated, loading rate and deformation rate. Kimura et al. [19], as a result of friction welding with low carbon steel and Ti-6Al-4 V titanium alloy, stated that the joining effect was the same at 30 MPa and 120 MPa pressure and reached 1076 °C at 30 MPa. Winiczenko [20] examined the effects of welding parameters on tensile strength of joints of

dissimilar low carbon steel AISI 1020 and ductile iron ASTM A536 materials joined by friction welding. The results of the study showed that the tensile strength increased with the increase of friction force and friction time. Kimura et al. [21] investigated the effects of welding parameters on tensile strength of low carbon steel and brass joints joined by friction welding. Results showed that low friction pressure and low friction time negatively affect the tensile strength of the joints. Handa and Chawla [3] studied the effect of forging pressure on tensile strength of AISI 1021 ferritic steel and AISI 304 austenitic stainless-steel joints joined by friction welding. They stated that forging pressure has important effects on friction welding and should be chosen carefully. Udayakumar et al. [22] investigated the effects of welding parameters on tensile strength of stainless steel (UNS S32760) joints joined by friction welding. They stated that forging force and friction force are the most important parameters as a result of the optimization they performed with the response to surface methodology using welding parameters. Anitha et al. [23] examined the effects of welding parameters such as friction pressure and rotational speed on the tensile strength of martensitic stainless steel (SS410) and IN718 alloy steel joints joined by friction welding. They stated that the increase in friction pressure and rotational speed have a positive effect in increasing the tensile strength. Stalin et al. [24] studied the effects of welding parameters such as friction pressure, forging pressure and friction time on tensile strength of austenitic stainless steel (AISI 310L) joints joined by friction welding. The results showed that the most important effect among the welding parameters was provided by friction pressure. Handa and Chawla [25] examined the effect of friction pressure on tensile strength of stainless steel AISI 304 and low alloy steel AISI 1021 joints joined by friction welding. They stated that increased friction pressure creates high temperatures and this causes diffusion of elements in the welding.

As a result of the literature review, it was seen that friction welding parameters such as rotational speed, forging pressure, friction time, friction pressure and forging time significantly affect the mechanical properties of the joints. Therefore, it is understood that optimizing these parameters will increase the quality of the weld.

The aim of this work is to analyse the effects of welding parameters on tensile strength and axial shortening of AISI 431 and AISI 1020 steel rod joints joined by friction welding, and to optimize the welding parameters by using Taguchi method to obtain quality weld joints.

II. MATERIAL AND METHOD

In the present work, commercial materials AISI 1020 and AISI 431 cylindrical rod pairs were used. AISI 1020 is one of the widely used steel materials due to its many advantages such as low carbon content, good mechanical properties and low cost. These types of steels are found in many different industries [12-14]. Martensitic stainless steel such as AISI 431 is a widely used material due to its excellent properties such as corrosion resistance, high strength, good ductility and toughness. These steels are used in many different and wide industrial fields such as chemistry, medicine, automotive and aerospace [8,15,16]. For this reason, these two materials were chosen to be used in the study. The welding process of these material pairs was conducted by means of a direct drive friction welding device (Fig. 1).

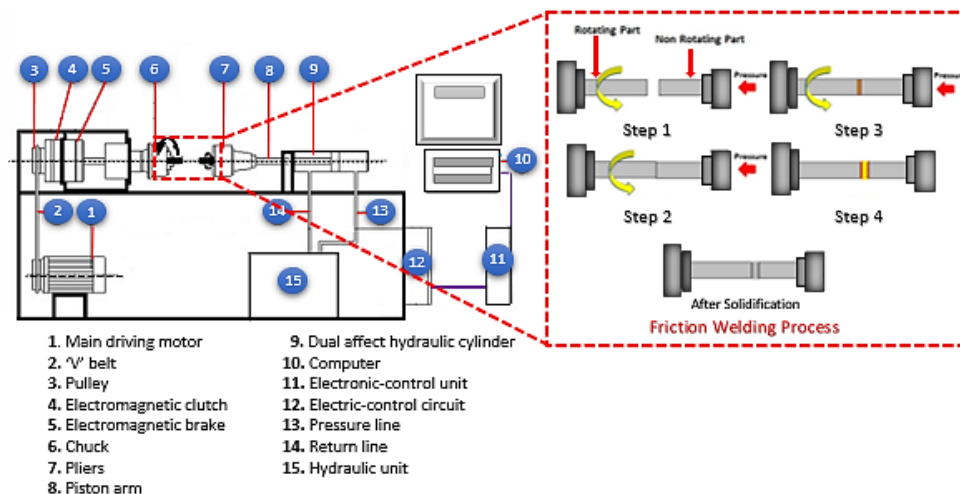


Figure 1. Friction welding device and process.

As seen in Fig. 2 a and b, C element values (wt. %) of AISI 431 and AISI 1020 steel materials used in the study are close to each other, but there is a big difference between Si, Cr and Ni element values (wt. %).

The chemical element compositions of AISI 431 and AISI 1020 used in the work are given in Fig. 2.

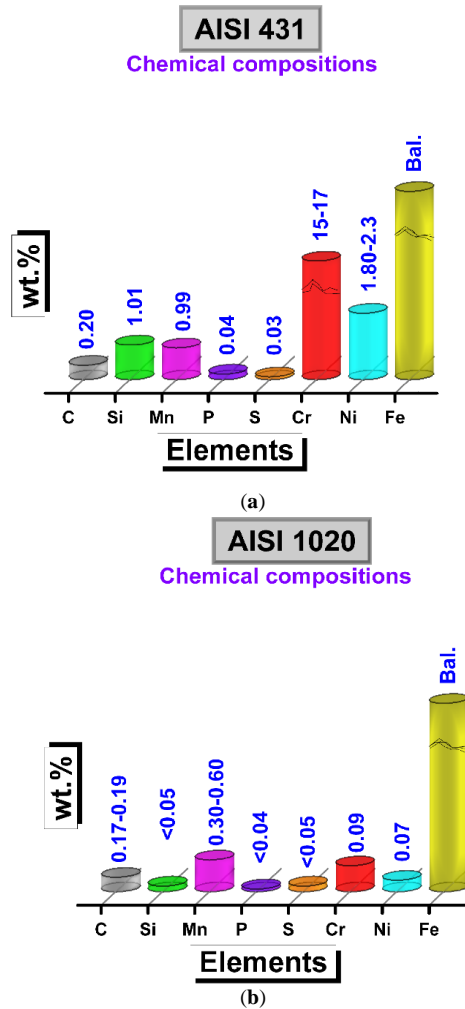


Figure 2. Chemical element compositions; AISI 431 (a) and AISI 1020 (b).

In friction welding process, optimization technique was used to obtain high quality weld joints (for optimal welding parameters) from AISI 431 and AISI 1020 steel materials.

A. Taguchi method

In line with the demands of different industrial areas, it is desired that the welding quality of the joints to be manufactured using friction welding should be high. For this reason, the tensile strength of the joints of the materials joined by friction welding should be high, thus the loss of the materials used should be minimal [1-5]. Optimization of friction welding parameters gains importance in order to achieve these targets. Nowadays, many optimization techniques are used in most of the manufacturing industries thanks to the developing technology. One of the most common and effective optimization techniques is Taguchi method. This method is used in almost all industrial fields. Taguchi optimization technique provides high quality friction weld joints with cost effective way. Thanks to Taguchi method, it is possible to reduce the number of experiments to be carried out in order to obtain high quality weld joints. This is the most important point that attracts significant attention of all industrial fields. Thus, time and cost savings are also achieved with optimization [26-32].

Taguchi optimization technique is an experimental design method based on factor, system and tolerance. During optimization, it determines the optimum parameters and uses them at different levels [26,27,31]. In the study, the experimental procedures prepared according to the optimization design were carried out stepwise.

The stepwise experiment and optimization scheme of the presented work is given in Fig. 3.

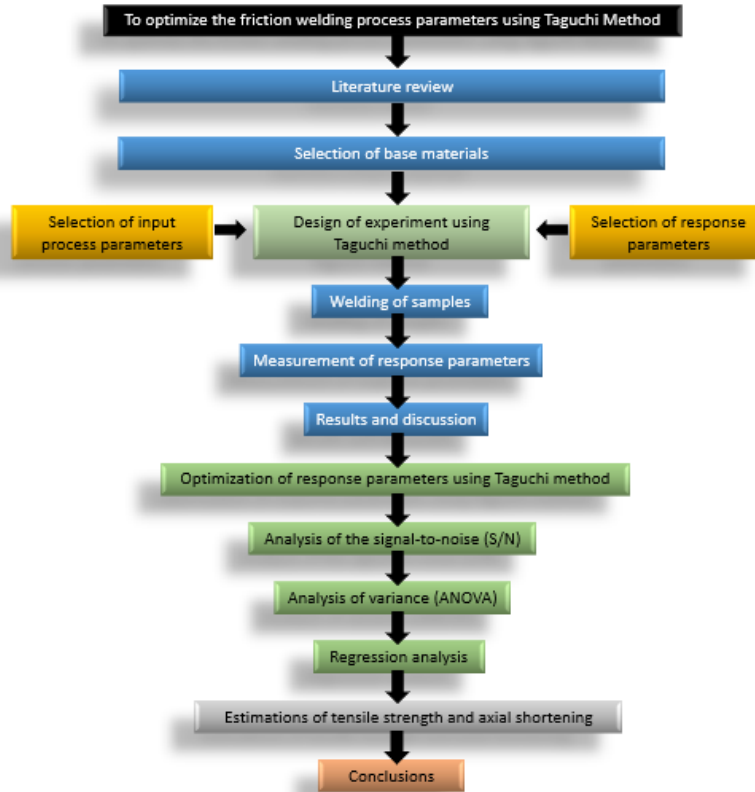


Figure 3. Stepwise experiment and optimization scheme.

Taguchi experimental design is an effective statistical method. Thanks to this statistical method, quality characteristics are examined by carrying out minimum number of experiments. Then, these experimental results are converted into Signal-to-Noise (S/N) ratios. Thus, the performance characteristics are found [26,27,31,32].

AISI 431 and AISI 1020 welded joints joined by friction welding technique must have high tensile strength. For this reason, in this study, "The bigger is better" formula (equation 1) was used to calculate S/N ratios. In addition, it is desired that the axial shortening of the joints joined by friction welding should be minimal in order to minimize material loss. Therefore, "The smaller is better" formula (equation 2) was used to calculate S/N ratios. The calculation formulas for tensile strength and axial shortening are presented below.

$$\text{The larger is better: } S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

$$\text{The smaller is better: } S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2)$$

With,

n : Number of observations,

y_i : i -the number of observations and

S/N : Signal to noise ratio.

Within the scope of the study, rotational speed (1300, 1500 and 1700 rpm), friction time (3, 5 and 7 s), friction pressure (40, 60 and 80 MPa), forging pressure and forging time were used as welding parameters. Parameters such as forging time and forging pressure were kept constant; thus, the effects of other parameters were examined.

It was understood that the most suitable Orthogonal Array (O.A.) for the experimental study is L9. The welding parameters prepared according to Taguchi experimental design is given in Table 1. As seen in the table, the experiments were arranged according to L9 orthogonal array.

Table 1. Welding parameters (L9, O.A.).

Sample no	Welding parameters							
	Rotating speed (rpm)		Friction time (s)		Friction pressure (MPa)		Forging pressure (MPa)	Forging time (s)
	Coded Value	Actual Value	Coded Value	Actual Value	Coded Value	Actual Value		
S1	1	1300	1	3	1	40	60	4
S2	1	1300	2	5	2	60	60	4
S3	1	1300	3	7	3	80	60	4
S4	2	1500	1	3	2	60	60	4
S5	2	1500	2	5	3	80	60	4
S6	2	1500	3	7	1	40	60	4
S7	3	1700	1	3	3	80	60	4
S8	3	1700	2	5	1	40	60	4
S9	3	1700	3	7	2	60	60	4

Parameters, factor symbols and levels used for optimization processes are given in Table 2.

Table 2. Parameters, factor symbols and levels.

Parameters	Factor Symbols	Units	Level 1	Level 2	Level 3
Rotating speed	A	rpm	1300	1500	1700
Friction time	B	s	3	5	7
Friction pressure	C	MPa	40	60	80

B. Preparation of welding and tensile test specimens

In the study, AISI 431 (900 mm long and 40 mm diameter) and AISI 1020 (300 mm long and 30 mm diameter) steel rod materials were prepared for friction welding experiments by turning 95 mm in length and 26 mm in diameter on Takisawa EX-108 brand Computer Numerically Controlled (CNC) lathe. The surfaces of all samples were cleaned from dirt, rust, etc. before friction welding and tensile testing.

After the friction welding processes were completed, the welded samples were machined according to ASTM E8 (Fig. 4) standards for tensile testing [33].

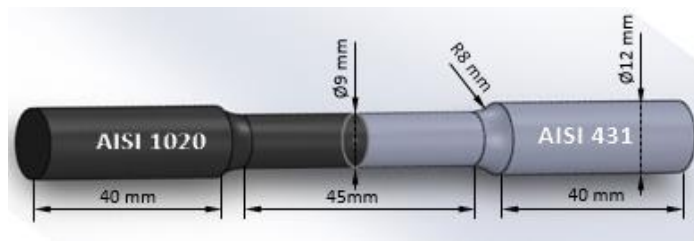


Figure 4. The sizes of tensile test sample.

Shimadzu (250 kN) brand universal tensile testing machine was used for the samples joined by friction welding. All tensile tests were performed at 1 mm x min⁻¹ crosshead speed. The tests were carried out at ambient temperature (20±2 °C) with 50 % humidity. A picture of the machine used for the tensile tests and a sample attached during the tensile test are given in Fig. 5.

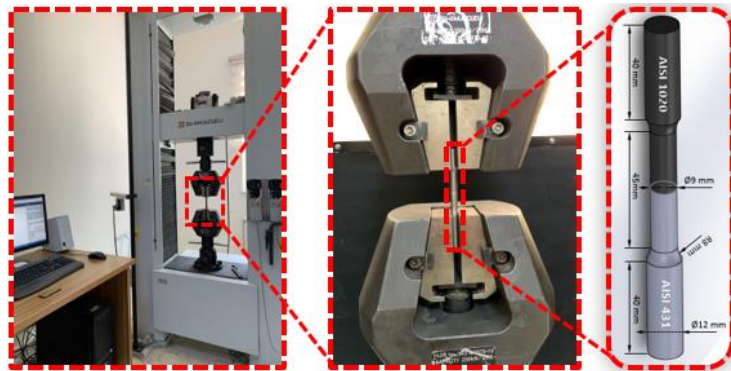


Figure 5. Tensile testing machine.

The tensile tests of all samples were performed on the same day and consecutively. The experimental methodology of the study is illustrated in Fig. 6. As seen in Fig. 6, time-dependent images of S9 sample during friction welding are shown.

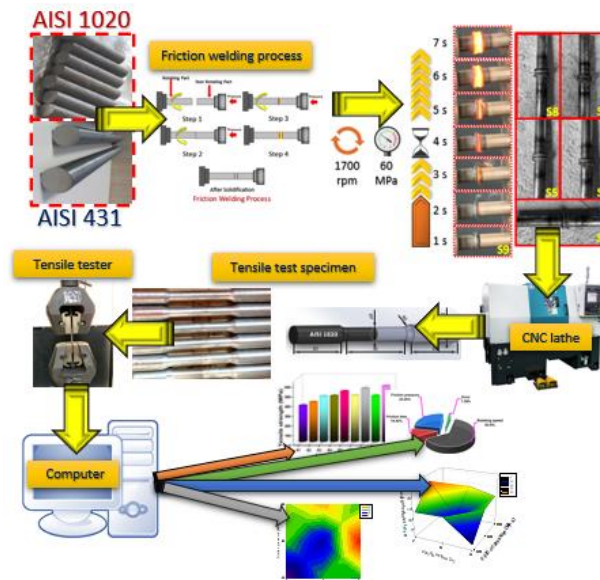


Figure 6. Experimental methodology.

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

A. The results of tensile tests

Friction welding parameters such as rotating speed, forging pressure, friction time, friction pressure and forging time significantly affect the welding quality of joints. However, due to the limited number of test samples used in the study, forging time and forging pressure values were kept constant. For this reason, rotational speed (1300, 1500 and 1700 rpm), friction time (3, 5 and 7 s) and friction pressure (40, 60 and 80 MPa), which are among the most important friction welding parameters, were determined as variable parameters [21,23,24].

After friction welding processes, tensile tests were performed to control the welding quality of the samples prepared based on ASTM E8 standard. Thanks to these tensile tests, the tensile strengths of the welded joints were found. The tensile strength results of welded joints are one of the most important weld quality parameters. In addition, it is understood how friction welding parameters affect the welded joints.

As a result of the tensile tests of the welded joints, S1, S2 and S3 samples were fractured in the welding zone. The other samples (S4, S5, S6, S7, S8 and S9) were fractured in AISI 1020 at the side. However, S4, S6 and S8 samples were fractured in the heat-affected zone (HAZ), which is very close to the welded zone. At the end of the tensile tests, only the samples S4, S5, S6, S7, S8 and S9 showed ductile fracture.

It was understood that the welding parameters applied to S1, S2 and S3 samples during friction welding are not suitable for joining these two materials. This is due to the lack of conditions such as required heat input, sufficient plastic deformation and diffusion during friction welding [8,34]. The tensile strengths of the joints joined by friction welding are given in Fig. 7.

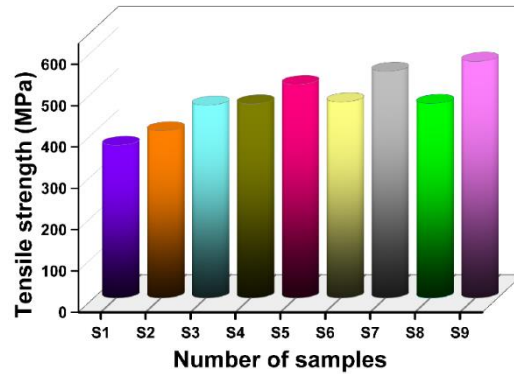


Figure 7. Tensile strength values of samples.

As a result of the tensile tests (Fig.7), the highest tensile strength value was obtained from S9 sample with 573.32 MPa, and the lowest tensile strength value was obtained from S1 sample with 370.99 MPa. For the highest tensile strength measured, while the welding parameters such as rotational speed 1700 rpm, friction time 7 s and friction pressure 60 MPa were applied for the lowest tensile strength measured, the welding parameters such as rotational speed 1300 rpm, friction time 3 s and friction pressure 40 MPa were applied. This highest measured tensile strength value is 20.69% higher than the tensile strength value of AISI 1020 steel used for friction welding. The average of all tensile strengths in the tests was found to be 478.06 MPa. The effects of friction welding parameters on tensile strength (on the left) and counter plots of friction welding parameters on tensile strength (on the right) are given in Fig. 8. The reason for this tensile strength difference is due to the high heat input, work hardening and heavy plastic deformation created in friction welding zone caused welding parameters such as applied high rotational speed, friction pressure and friction time [8,34].

In addition, the test results obtained showed that AISI 431 and AISI 1020 steel joints joined by friction welding can be improved in terms of mechanical properties.

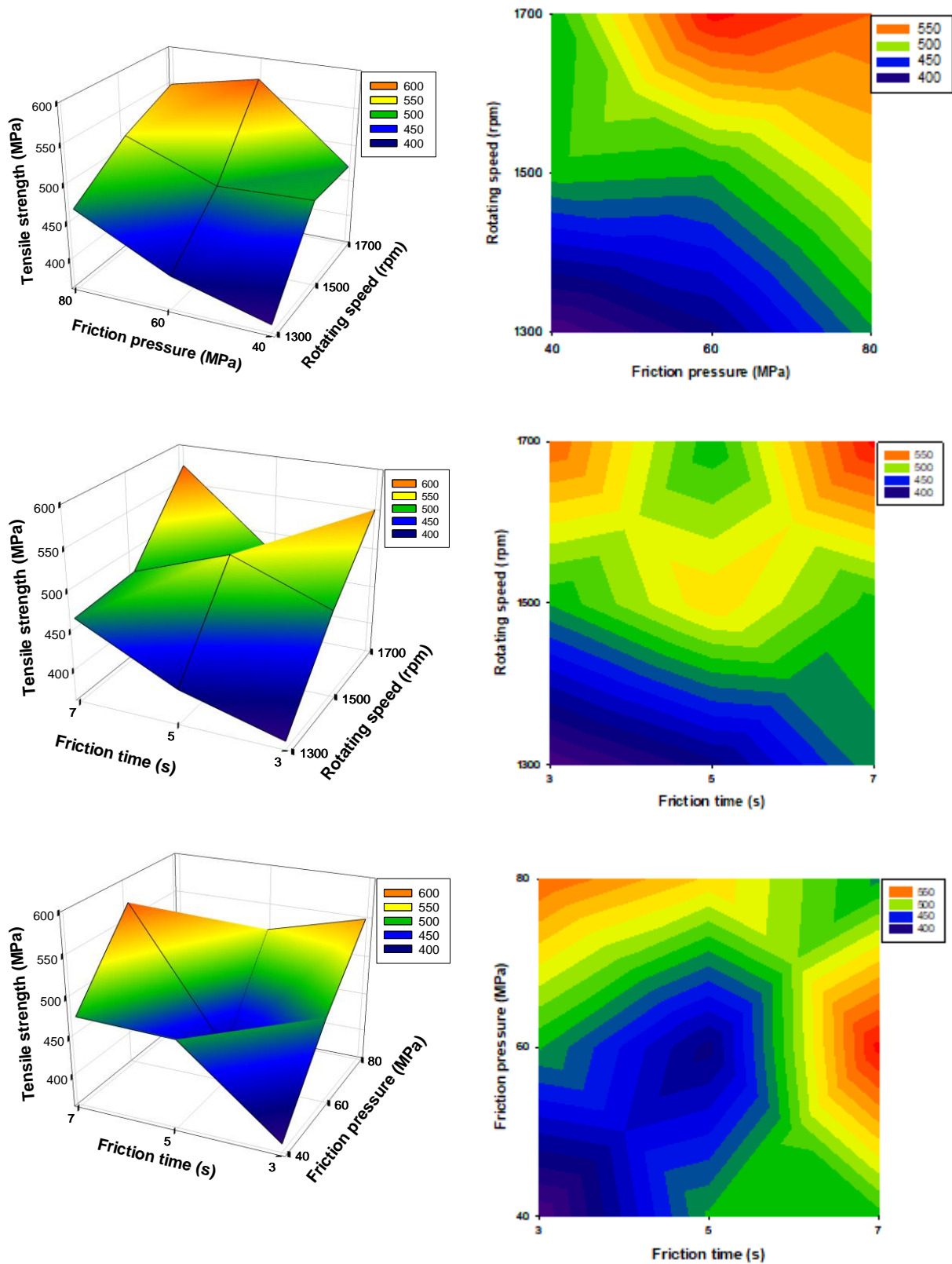


Figure 8. The effects of welding parameters on tensile strength (on the left) and counter plots of welding parameters on tensile strength (on the right).

B. The axial shortening results

The axial shortening values of AISI 431 and AISI 1020 steel joints joined by friction welding are given in Fig. 9. When the axial shortening values of the welded joints are examined, it is observed that the axial shortening values are generally negatively affected by the increase in the welding parameters.

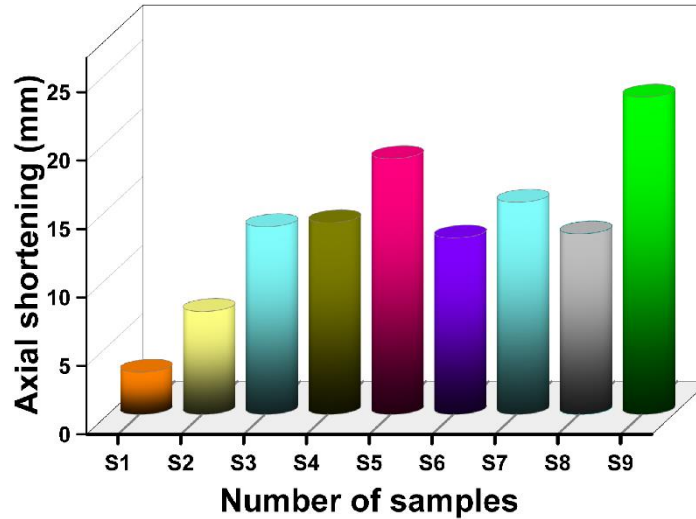


Figure 9. Axial shortening values of samples.

As a result of the friction welding, the highest axial shortening value was obtained from S9 sample with 23.18 mm, and the lowest axial shortening value was obtained from S1 sample with 3.09 mm. For the highest measured axial shortening, rotational speed 1700 rpm, friction time 7 s and friction pressure 60 MPa welding parameters, while for the lowest axial shortening measured, rotational speed 1300 rpm, friction time 3 s and friction pressure 40 MPa welding parameters were applied. This axial shortening measured as the highest value is 650.16% higher than the lowest measured axial shortening value. The average of all axial shortenings in the friction welded joints was found to be 13.54 mm. The effects of welding parameters on axial shortening (on the left) and counter plots of friction welding parameters on axial shortening (on the right) are given in Fig. 10.

In the study, it is desired that the axial shortening of the joints joined by friction welding should be minimal in order to minimize material loss. However, when the axial shortening values of the joints obtained after friction welding were examined, it was seen that the tensile strength of the joints with the least axial shortening was not good, and that the tensile test fracture occurred in the weld zone. As a result of the tensile test of welded joints, it is one of the least desirable situations for the fracture site to be in the welded zone [1, 2, 4]. Therefore, when the axial shortening and tensile test results were evaluated together, it was seen that the sample with the most suitable welding parameters was S7.

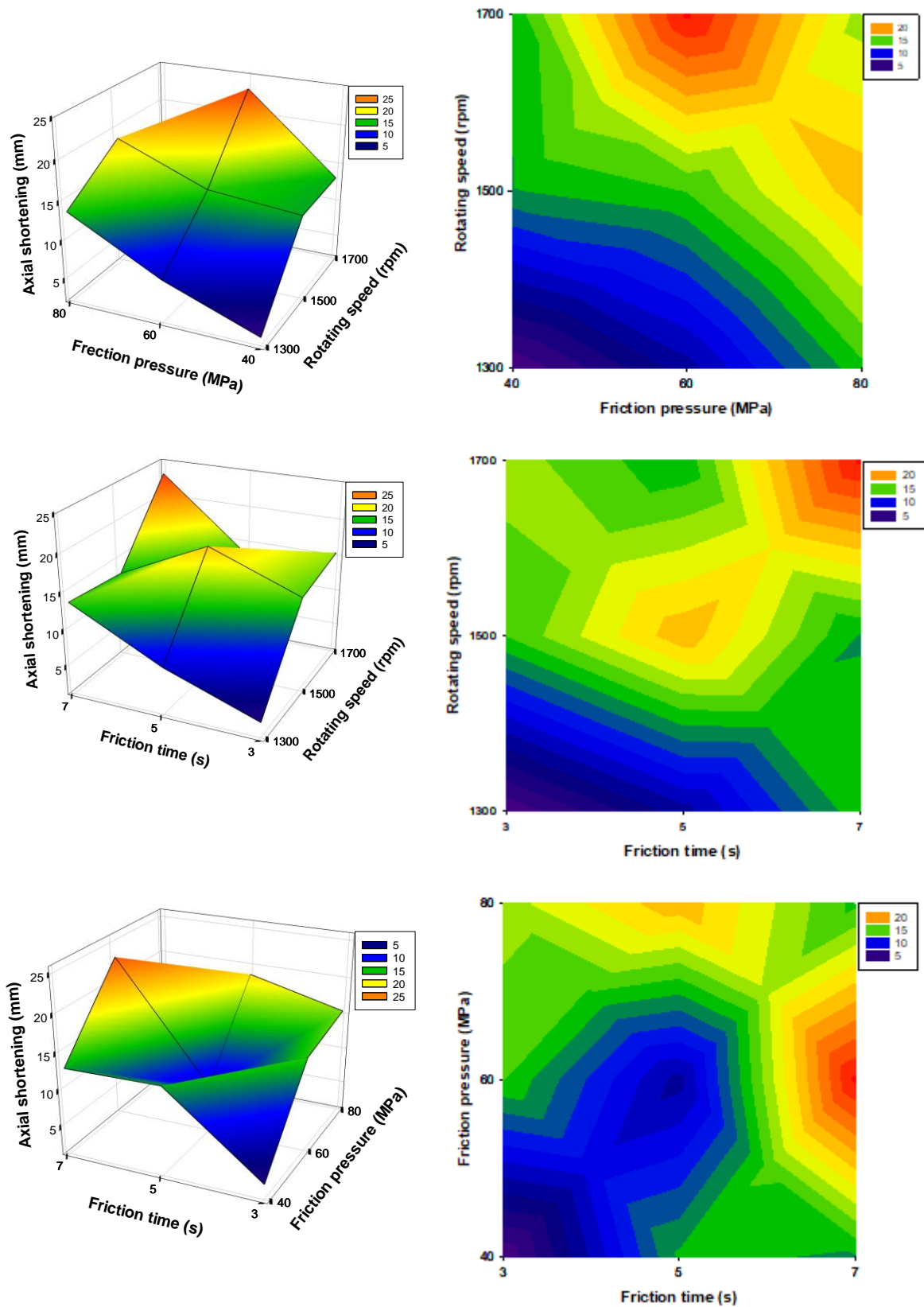


Figure 10. The effects of welding parameters on axial shortening (on the left) and counter plots of welding parameters on axial shortening (on the right).

C. Analysis of S/N ratios

S/N ratios were found after the experiments performed according to Taguchi experimental design. S/N ratios were calculated for tensile strength and axial shortening using equation 1 (The larger is better) and equation 2 (The smaller is better), respectively. Thanks to these calculated S/N ratios, the control factors were optimized [26, 27, 35]. S/N response table and factor rankings for tensile strength and axial shortening are given in Table 3.

Table 3. S/N response table and factor rankings for tensile strength and axial shortening.

Tensile strength			
Response Table for Signal to Noise Ratios <i>Larger is better</i>			
Level	Rotating speed (rpm)	Friction time (s)	Friction pressure (MPa)
1	52.30	53.20	52.79
2	53.75	53.29	53.58
3	54.47	54.03	54.15
Delta	2.17	0.83	1.36
Rank	1	3	2
Response Table for Means <i>Larger is better</i>			
Level	Rotating speed (rpm)	Friction time (s)	Friction pressure (MPa)
1	414.0	463.0	438.7
2	487.3	464.3	482.7
3	531.0	505.0	511.0
Delta	117.0	42.0	72.3
Rank	1	3	2
Axial shortening			
Response Table for Signal to Noise Ratios <i>Smaller is better</i>			
Level	Rotating speed (rpm)	Friction time (s)	Friction pressure (MPa)
1	-16.69	-18.85	-18.14
2	-23.52	-21.79	-22.59
3	-24.51	-24.09	-24.00
Delta	7.81	5.24	5.86
Rank	1	3	2
Response Table for Means <i>Smaller is better</i>			
Level	Rotating speed (rpm)	Friction time (s)	Friction pressure (MPa)
1	8.113	10.870	9.727
2	15.200	13.137	14.907
3	17.293	16.600	15.973
Delta	9.180	5.730	6.247
Rank	1	3	2

Main effect plots for S/N ratios of axial shortening and tensile strength are shown in Fig. 11 and 12. In the main effects plot for S/N ratios, the values closest to the vertical are the optimal level factor. The optimal level factor found is defined as the most effective parameter. As seen in Table 3 and Fig. 11, the most important parameter for the axial shortening is the rotating speed. The most suitable parameters (based on S/N ratios) for the average axial shortening were determined as A3B1C3. As can be seen in Table 3 and Fig. 12, the most important parameter for the tensile strength is the rotating speed. The most suitable parameters (based on S/N ratios) for the average tensile strength were determined as A3B3C2.

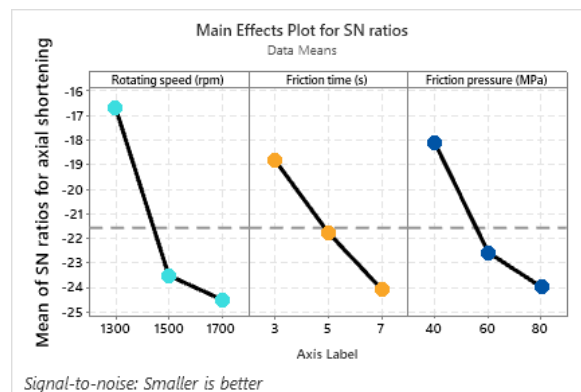


Figure 11. Main effects plot for S/N ratios of axial shortening.



Figure 12. Main effects plot for S/N ratios of tensile strength.

D. Analysis of ANOVA results

In the study, ANOVA (Analysis of Variance) analysis (statistical method) was performed to see the effects of the factors. For this, the results obtained from the experiments were used in ANOVA analysis. These analyses were performed for tensile strength and axial shortening at 95% confidence and 5% significance levels [26,27,35]. The results of ANOVA analyses for tensile strength and axial shortening are given in Table 4.

Table 4. The ANOVA results.

Tensile strength							
Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Rotating speed (rpm)	2	20973.6	63.90%	20973.6	10486.8	45.97	0.021
Friction time (s)	2	3419.6	10.42%	3419.6	1709.8	7.50	0.118
Friction pressure (MPa)	2	7970.9	24.29%	7970.9	3985.4	17.47	0.049
Error	2	456.2	1.39%	456.2	228.1		
Total	8	32820.2	100.00%				
R-sq: 98.61%		R-sq(adj): 94.44%					

Axial shortening							
Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Rotating speed (rpm)	2	138.88	51.55%	138.88	69.438	10.20	0.045
Friction time (s)	2	49.97	18.54%	49.97	24.983	3.67	0.114
Friction pressure (MPa)	2	66.99	24.86%	66.99	33.496	4.92	0.069
Error	2	13.61	5.05%	13.61	6.805		
Total	8	269.44	100.00%				
R-sq: 94.95%		R-sq(adj): 79.80%					

Notes: Adj. SS, Adjusted Sum of Squares; Seq. SS, Sequential Sum of Squares; Adj. MS, Adjusted Mean Squares; P, Statistical value; F, Statistical test.

As seen in Table 4 and Fig. 13 a, when the percentage contribution values for tensile strength are examined, it is seen that the most effective factor is rotating speed (63.90%). In addition, the contribution values (tensile strength) for friction pressure and friction time are 24.29% and 10.42%, respectively. As can be seen in Table 4 and Fig. 13 b, the most effective factor for axial shortening is the rotating speed with 51.55%. Also, the contribution values (axial shortening) for friction pressure and friction time are 24.86% and 18.54%, respectively. When the percent contribution values of tensile strength and axial shortening are evaluated together, it is seen that the most important factor is the rotational speed.

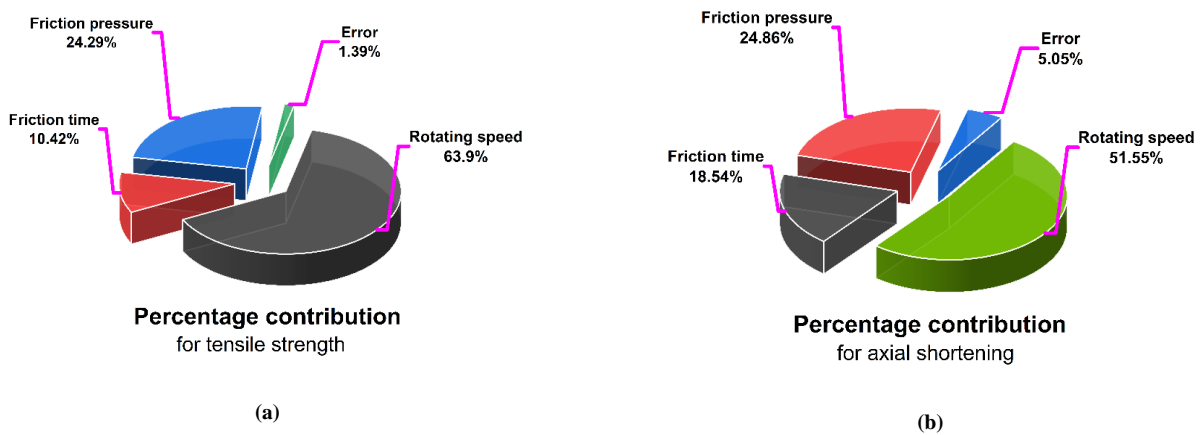


Figure 13. Percentage contributions; tensile strength (a) and axial shortening (b).

E. Analysis of regression

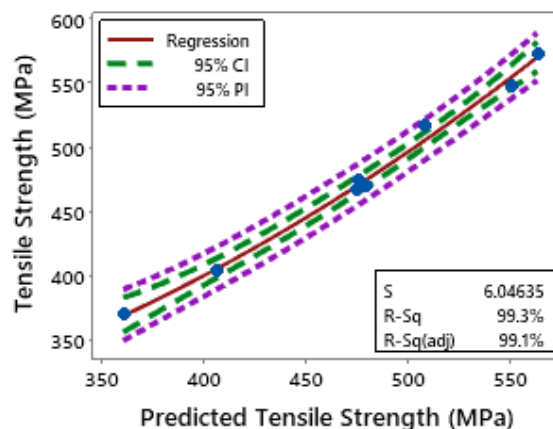
Regression analyses are carried out to analyse and model different variables that have a relationship between the dependent variable and the independent variables (one or more) [26, 27, 35-42]. In this study, equations were found by regression analysis for the estimation of axial shortening and tensile strength. Linear models were made to find the equation estimates. The equations found for tensile strength and axial shortening as a result of the regression analysis are given in Table 5.

Table 5. Linear equations.

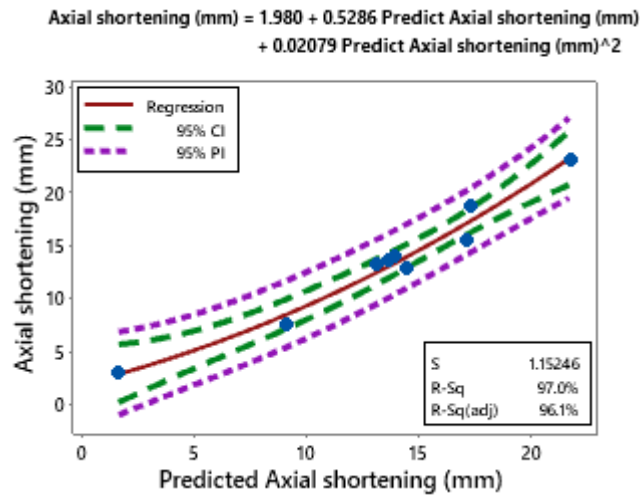
Estimated linear equations
Tensile Strength (MPa) = 477.44 - 63.44 Rotating speed (rpm)_1300 + 9.89 Rotating speed (rpm)_1500 + 53.56 Rotating speed (rpm)_1700 - 14.44 Friction time (s)_3 - 13.11 Friction time (s)_5 + 27.56 Friction time (s)_7 - 38.78 Friction pressure (MPa)_40 + 5.22 Friction pressure (MPa)_60 + 33.56 Friction pressure (MPa)_80
Axial shortening (mm) = 13.536 - 5.42 Rotating speed (rpm)_1300 + 1.66 Rotating speed (rpm)_1500 + 3.76 Rotating speed (rpm)_1700 - 2.67 Friction time (s)_3 - 0.40 Friction time (s)_5 + 3.06 Friction time (s)_7 - 3.81 Friction pressure (MPa)_40 + 1.37 Friction pressure (MPa)_60 + 2.44 Friction pressure (MPa)_80

The comparison of the experimental results (tensile strength and axial shortening) with the estimated values (tensile strength and axial shortening) are given in Fig. 14 a and b (for output parameters).

$$\text{Tensile Strength (MPa)} = 261.6 - 0.1490 \text{ Predict Tensile Strength (MPa)} + 0.001239 \text{ Predict Tensile Strength (MPa)}^2$$



(a)

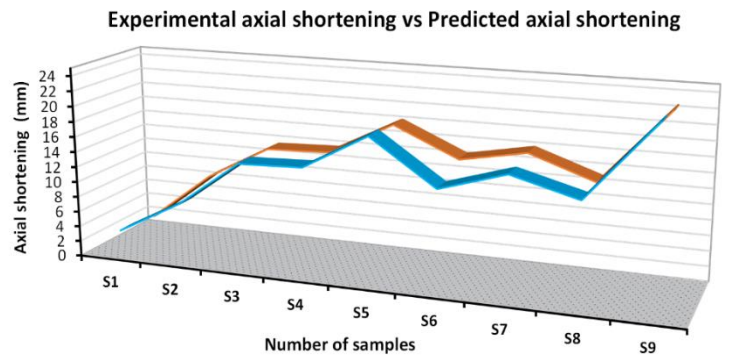


(b)

Figure 14. Experimental results vs predicted values; tensile strength (a) and axial shortening (b).

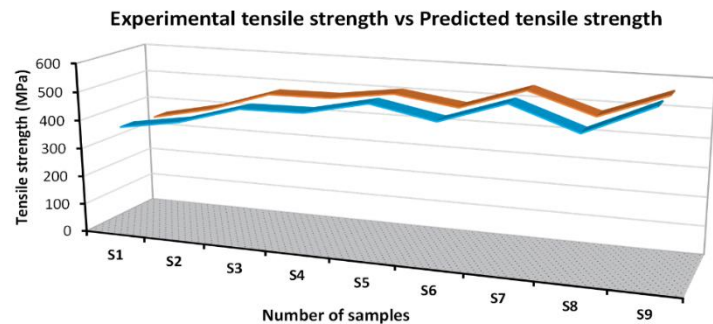
As seen in Fig. 14 a and b, a good correlation was found when the predicted values with the experimental results were examined. R2 values for the average axial shortening and average tensile strengths were found to be 97% and 99.3%, respectively.

The graphs in Fig. 15 a and b show the experimental results versus the predicted values for axial shortening and tensile strength.



■ Exp. Axial Short. (mm) ■ Pred. Axial Short. (mm)

(a)



■ Exp. Tensile Strength (MPa) ■ Predicted Tensile Strength (MPa)

(b)

Figure 15. Experimental vs predicted values; axial shortening (a) and tensile strength (b).

IV. CONCLUSIONS

In the present study, AISI 431 and AISI 1020 steel bars were successfully joined by friction welding, and the effects of welding parameters on axial shortening and tensile strength were investigated, and welding parameters were optimized using Taguchi method to obtain quality weld joints. Within the scope of the study, rotational speed (1300, 1500 and 1700 rpm), friction time (3, 5 and 7 s), friction pressure (40, 60 and 80 MPa), forging pressure and forging time were used as welding parameters. The results of the study are summarized below:

- At the end of the tensile tests of the welded joints, S1, S2 and S3 samples were fractured in the welding zone. The other samples (S4, S5, S6, S7, S8 and S9) were fractured in AISI 1020 at the side. In addition, only S4, S5, S6, S7, S8 and S9 samples showed ductile fracture.
- In the tests, the highest tensile strength value was obtained from S9 sample with 573.32 MPa, and the lowest tensile strength value was obtained from S1 sample with 370.99 MPa. Thus, it was observed that the highest tensile strength was 54.53% higher than the lowest tensile strength. Furthermore, the highest measured tensile strength value was 20.69%, higher than the tensile strength value of AISI 1020 steel used for friction welding.
- At the end of friction welds, the highest axial shortening value was obtained from S9 sample with 23.18 mm, and the lowest axial shortening value was obtained from S1 sample with 3.09 mm. This highest measured axial shortening value was 650.16% higher than the lowest measured axial shortening value.
- The optimal parameters (according to S/N ratios) for average axial shortening and average tensile strength were determined as A3B1C3 and A3B3C2, respectively.
- According to ANOVA analyses, the highest percentage contribution values for axial shortening and tensile strength were found to be 51.55% (rotating speed) and 63.90% (rotating speed), respectively. Thus, it was found that the most important factor for axial shortening and tensile strength is rotating speed.
- In the regression analyses, a good correlation was found. R^2 values for the average axial shortening and average tensile strengths were found to be 97% and 99.3%, respectively.

REFERENCES

- [1] Althouse, A. D., Turnquist, C. H., Bowditch, W. A., Bowditch, K. E., & Bowditch, M. A. (2020). Modern welding. 12th ed. The Goodheart-Wilcox Company, Inc.
- [2] Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2013). Manufacturing Engineering and Technology. Seventh ed. Pearson Prentice-Hall, Hoboken, NJ, USA.
- [3] Handa, A., & Chawla, V. (2013). Mechanical characterization of friction welded dissimilar steels at 1000rpm. *Materials Engineering/Materialove Inzinerstvo*, 20, 102-111.
- [4] Cary, H. B., & Helzer, S. C. (2005). Modern welding technology. 6th ed. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, Ohio, USA.
- [5] Kumar Rajak, D., Pagar, D. D., Menezes, P. L., & Eyvazian, A. (2020). Friction-based welding processes: friction welding and friction stir welding. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 34, 2613-2637. <https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1780716>
- [6] Guo, J. (2015). Solid state welding processes in manufacturing. Springer, London, 569-592.
- [7] Rombaut, P. (2011) Joining of dissimilar materials through rotary friction welding. *Mech. Constr. Prod.*
- [8] Adin, M. Ş., & Okumuş, M. (2021). Investigation of Microstructural and Mechanical Properties of Dissimilar Metal Weld Between AISI 420 and AISI 1018 Steels. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-10.
- [9] Abass, M. H., Abood, A. N., Alali, M., Hussein, S. K., & Nawi, S. A. (2021). Mechanical Properties and Microstructure Evolution in Arc Stud Welding Joints of AISI 1020 with AISI 316L and AISI 304. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 1-13.

- [10] Wu, W., Hu, S., & Shen, J. (2015). Microstructure, mechanical properties and corrosion behavior of laser welded dissimilar joints between ferritic stainless steel and carbon steel. *Materials & Design* (1980-2015), 65, 855-861.
- [11] Singh, D. K., Sahoo, G., Basu, R., Sharma, V., & Mohtadi-Bonab, M. (2018). Investigation on the microstructure-mechanical property correlation in dissimilar steel welds of stainless steel SS 304 and medium carbon steel EN 8. *Journal of Manufacturing Processes*, 36, 281-292.
- [12] Kumar, D., Ramesh, M., & Kumar, A. (2021). Effect of variable thickness and service temperature of copper coating on the plane strain fracture toughness of AISI 1020 steel substrate and brittle to ductile transition temperature. *Materials Today: Proceedings*, 50, 2294-2298.
- [13] Çivi, C., & İren, E. (2021). The effect of welding on reliability of mechanical properties of AISI 1020 and AISI 6150 steel materials. *Revista de Metalurgia*, 57, e186.
- [14] Shukla, A., Joshi, V., & Shukla, B. (2018). Analysis of shielded metal arc welding parameter on depth of penetration on AISI 1020 plates using response surface methodology. *Procedia manufacturing*, 20, 239-246.
- [15] Rajasekhar, A. (2015). Heat treatment methods applied to AISI 431 martensitic stainless steels. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6, 547-553.
- [16] Bloom, F. K. (1953). Effect of Heat Treatment and Related Factors on Straight-Chromium Stainless Steels. *Corrosion*, 9, 56-65.
- [17] Li, R-d., Li, J-l., Xiong, J-t., Zhang, F-s., Ke, Z., & Ji, C-z. (2012). Friction heat production and atom diffusion behaviors during Mg-Ti rotating friction welding process. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22, 2665-2671.
- [18] Ren, F., Chen, F., Chen, J., & Tang, X. (2018). Hot deformation behavior and processing maps of AISI 420 martensitic stainless steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 31, 640-649.
- [19] Kimura, M., Iijima, T., Kusaka, M., Kaizu, K., & Fuji, A. (2016). Joining phenomena and tensile strength of friction welded joint between Ti-6Al-4V titanium alloy and low carbon steel. *Journal of Manufacturing Processes*, 24, 203-211.
- [20] Winiczenko, R. (2016). Effect of friction welding parameters on the tensile strength and microstructural properties of dissimilar AISI 1020-ASTM A536 joints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84, 941-955.
- [21] Kimura, M., Kasuya, K., Kusaka, M., Kaizu, K., & Fuji, A. (2009). Effect of friction welding condition on joining phenomena and joint strength of friction welded joint between brass and low carbon steel. *Science and Technology of Welding and Joining*, 14, 404-412.
- [22] Udayakumar, T., Raja, K., Husain, T. A., & Sathiyar, P. (2014). Prediction and optimization of friction welding parameters for super duplex stainless steel (UNS S32760) joints. *Materials & Design*, 53, 226-235. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.07.002>
- [23] Anitha, P., Majumder, M., Saravanan, V., & Rajakumar, S. (2018). Microstructural characterization and mechanical properties of friction-welded IN718 and SS410 dissimilar joint. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 7, 277-287.
- [24] Stalin, B., Ravichandran, M., Marichamy, S., Devi, T. C., Alagarsamy, S., & Dhinakaran, V. (2020). Friction welding parametric optimization of AISI 310L austenitic stainless steel weld joints-Grey relational investigation. in AIP Conference Proceedings, 2283(1), 020141.
- [25] Handa, A., & Chawla, V. (2014). Investigation of mechanical properties of friction-welded AISI 304 with AISI 1021 dissimilar steels. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 75, 1493-1500.
- [26] Montgomery, D. C. (2017). Design and analysis of experiments. Ninth ed. John Wiley & sons.
- [27] Taguchi G (1987). System of experimental design, quality resources. New York, USA.

- [28] Ramarao, M., King, M. F. L., Sivakumar, A., Manikandan, V., Vijayakumar, M., & Subbiah, R. (2021). Optimizing GMAW parameters to achieve high impact strength of the dissimilar weld joints using Taguchi approach. *Materials Today: Proceedings*, 1-6.
- [29] Kishore, K., Krishna, P. G., Veladri, K., & Ali, S. Q. (2010). Analysis of defects in gas shielded arc welding of AISI1040 steel using Taguchi method. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5, 37-41.
- [30] Pal, A. (2015). MIG welding parametric optimisation using taguchi's orthogonal array and analysis of variance. *International Journal of Research Review in Engineering Science & Technology*, 4, 211-217.
- [31] Javadi, Y., Sadeghi, S., & Najafabadi, M. A. (2014). Taguchi optimization and ultrasonic measurement of residual stresses in the friction stir welding. *Materials & Design*, 55, 27-34.
- [32] Ross, P. J. (1996). Taguchi techniques for quality engineering: loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design.
- [33] ASTM (2008). ASTM-E8/E8M Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. ASTM international, West Conshohocken, PA.
- [34] Gotawala, N., & Shrivastava, A. (2021). Investigation of interface microstructure and mechanical properties of rotatory friction welded dissimilar aluminum-steel joints. *Materials Science and Engineering: A*, 825, 141900.
- [35] Pandiarajan, S., Kumaran, S. S., Kumaraswamidhas, L. & Saravanan, R. (2016). Interfacial microstructure and optimization of friction welding by Taguchi and ANOVA method on SA 213 tube to SA 387 tube plate without backing block using an external tool. *Journal of Alloys and Compounds*, 654, 534-545.
- [36] Adin, M.Ş., & İşcan, B. (2022). Optimization of process parameters of medium carbon steel joints joined by MIG welding using Taguchi method. *European Mechanical Science*, 6, 17-26.
- [37] Kam, M., İpekçi, A., & Argun, K. (2022). Experimental investigation and optimization of machining parameters of deep cryogenically treated and tempered steels in electrical discharge machining process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.1177/09544089221078133>
- [38] Tiwary, V. K., Padmakumar, A., & Malik, V. (2022). Adhesive bonding of similar/dissimilar three-dimensional printed parts (ABS/PLA) considering joint design, surface treatments, and adhesive types. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. <https://doi.org/10.1177/09544062221089849>
- [39] Kam, M. (2021). Effects of deep cryogenic treatment on machinability, hardness and microstructure in dry turning process of tempered steels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 235(4), 927-936.
- [40] Gürbüz, H., & Gönülaçar, Y. E. (2021). Optimization and evaluation of dry and minimum quantity lubricating methods on machinability of AISI 4140 using Taguchi design and ANOVA. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 235, 1211-1227.
- [41] Başar, G., & Mistikoğlu, S. (2019). Cu/Al levhaların sürtünme karıştırma kaynağında Taguchi metodu ile çekme mukavemeti ve sertlik için optimum kaynak parametrelerinin tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34, 1595-1608.
- [42] Gürbüz, H., & Baday, Ş. (2019). CNC torna tezgâhlarında ayna ve punta basıncının yüzey pürüzlülüğü ve titreşim üzerine etkisinin Taguchi metodu ile optimizasyonu. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6, 119-134.

AZ Serisi Döküm Magnezyum Alaşımlarının Termal Özellikleri

Thermal properties of AZ series cast Magnesium alloys

Birol Akyüz^{1*}

Geliş / Received: 24/02/2022

Revize / Revised: 29/05/2022

Kabul / Accepted: 29/05/2022

ÖZ

Bu çalışmada, AZ serisi döküm magnezyum alaşımlarının ısı davranışları (ısı yayılma ve ısı iletkenlik) üzerine deneysel bir araştırma sunulmaktadır. Deneyde kullanılan alaşım bileşenlerinden Al'nin değişimi (ağırlıkça % 1-9 arasında) alaşımların ısı yayılma ve ısı iletkenliklerini nasıl etkilediğini, yoğunluk ve sertlik üzerindeki değişimler incelenmiştir. Alaşımların mikroyapı değişimlerinin ve mikroyapıda görülen intermetalik fazın (Mg₁₇Al₁₂) alaşımların ısı yayılımı, ısı iletkenlik, yoğunluk ve sertlik üzerine etkisi olduğu görülmüştür. Alaşımın ısı özellikleri, alaşımdaki Al içeriğine bağlı olarak değişmiştir. Alaşımların termal özellikleri sıcaklık artışına bağlı olarak (sıcaklık değişimi 25 °C- 400 °C arası) artmıştır. En yüksek termal yayılma AZ61 alaşımında gözlenmiştir.

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

ABSTRACT

In this study, an experimental research on the thermal behavior (thermal diffusion and thermal conductivity) of cast magnesium alloys of the AZ series is presented. How the variation of Al, one of the alloy components used in the experiment, affects the thermal expansion and thermal conductivity of the alloys (1-9 Al % weight), and the changes on density and hardness were investigated. It has been observed that the microstructure changes of the alloys and the intermetallic phase (Mg₁₇Al₁₂) seen in the microstructure have an effect on the thermal diffusivity, thermal conductivity, density, and hardness of the alloys. The thermal properties of the alloy changed depending on the Al content in the alloy. The thermal properties of the alloys increased depending on the temperature increase (temperature change between 25 °C and 400 °C). The highest thermal dissipation was observed in AZ61 alloy.

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

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

I. GİRİŞ

Magnezyum alaşımlarının sahip oldukları özellikler nedeniyle özellikle otomotiv, tıp, savunma, elektronik, uzay ve havacılık sektörleri başta olmak üzere tekstil ve gıda endüstrileri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadır [1-8]. Bu alaşımların özellikle düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, yüksek aşınma ve yüksek korozyon direnci özelliklerine sahip olmalarının yanında, en hafif yapı metalleri arasında bulunmaları, ayrıca ağırlık-dayanım ve ağırlık-sertlik özellikleri ile özellikle tıp ve savunma sanayisi, uzay, havacılık, otomotiv ve taşımacılık sektörlerinde kullanım alanı bulmasını sağlamıştır [1-10].

Bu sektörlerde magnezyum alaşımlarının kullanılmasına bazı örnekler şunlardır: Uzay, havacılık, otomotiv ve taşıma sektörlerinde ağırlık azaltılması ile yakıt tasarrufu sağlanması ve çevreye zararlı atık emisyonların (SO_x, CO₂, ve NO_x) düşürülmesi ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması sayılabilir [2-12]. Tıp alanında ise; mikro ameliyat aletleri/cihazları, implant malzemeleri, damar tıkanıklarının açılmasında kullanılan ve vücutta eriyebilen stentler, biyosensörler ve bazı yapay organların yapımı sayılabilir [9].

Günümüzde magnezyum alaşımlarına olan en büyük ilgi özellikle otomotiv sektörü, uzay-hava araçları ve taşıma sektörlerinde görülmektedir [1-8]. Bu amaçla en yaygın kullanılan AZ, AS, AM, AJ, ZK serisi gibi magnezyum alaşımları örneğin; AZ31, AZ91, AM40, AM60, AS21, AS41, AJ51, ZK60 sayılabilir [1-12].

Magnezyum alaşımlarının kullanımına olan ilginin önemli bir nedeni, hafif Magnezyum alaşımlarının kullanımı ile araç ağırlığında yapılan azalmanın yakıt ekonomisi sağlanması (örneğin otomobillerde 100 km de ortalama 0.5 lt yakıt tasarrufu sağlanması) ve bunun sonucu olarak gaz emisyonlarının azaltılabilecek olmasıdır. Örneğin, günümüzde otomobillerde Euro 6'ya göre CO₂ emisyonları ~130g/Km iken, 2023 yılında ise ~95g/Km olması hedeflenmektedir [2,8,10,11]. Otomotiv sektöründe hafif metalik malzemelere yönelmenin nedeni sadece günümüzün otomobilleri ile sınırlı değildir. Geleceğin otomobilleri için de (yeni nesil otomobiller) hafiflik bugünküne kıyasla çok daha önemli bir gereksinimdir. (Yeni nesil otomobiller; Güneş, elektrik veya hidrojen gibi alternatif enerji kaynakları ile çalışacağı öngörülen otomobillerdir.) Önümüzdeki yıllarda binek otomobillerde ulaşılmaya planlanan yakıt tüketimi zorlu bir hedeftir (3 litre/100 Km) ve bu durum otomobil ağırlığında yaklaşık %30'luk bir azalmayı zorunlu kılmaktadır [8,10,11]. Bu nedenle magnezyum alaşımlarının önemi daha da artmaktadır [2,8,10,11].

Magnezyum alaşımlarının yukarıda sıralanan çok önemli özelliklerinden dolayı bu alaşımlar üzerine son yıllarda yapılan araştırmaların arttığı görülmektedir. Bu amaçla magnezyum alaşımlarının bazı özelliklerinin geliştirilmesi (mekanik özellikler, sürtünme, yorulma ve aşınma direnci ve termal özellikler vb.) amacıyla farklı alaşımlar elde edilmeye çalışılmakta ve bu alaşımlar üzerinde çok çeşitli araştırmalar yapılmaktadır [3,6,7,12-20]. Bu çalışmaların özellikle magnezyum alaşımlarının malzeme özelliklerinin geliştirilmesi ve (mekanik özellikleri) ve şekillendirme/işleme özellikleri kazandırılması üzerine yoğunlaştığı görülmektedir [3-23].

Literatürde magnezyum alaşımlarının termal özellikleri/termal davranışları üzerine çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Lee ve arkadaşlarının [21] yaptıkları araştırmada AZ31, AZ61 magnezyum alaşımlarını, Rudajevová ve Lukáč'ın [22] yaptıkları araştırmada ise AM20, AS21 magnezyum alaşımlarını Al içeriğinin bir fonksiyonu olarak bu alaşımların termal özelliklerini/termal davranışlarını karşılaştırarak inceledikleri görülmüştür. Bu çalışmalarda [21,22] kullanılan AZ31, AZ61, AS21 ve AM20 alaşımlarının farklı alaşım bileşimlerine ve farklı mikro yapılara sahip olması nedeniyle bu karşılaştırmalar tartışılabilir. Bu nedenle, bu çalışmada, kullanılan, AZ serisi döküm magnezyum alaşımlarına sistematik olarak Al ilave edilerek oluşan alaşımın (ağırlıkça %1-9 Al ilave edilmiştir ve 1 Zn sabit) termal özellikleri/termal davranışları (termal yayılım, termal iletkenlik, yoğunluk ve ayrıca sertlik) üzerindeki etkisinin araştırılması oldukça önemlidir. Literatürde, AZ serisi magnezyum alaşımlarında Al miktarındaki değişimin alaşımın termal özellikleri üzerindeki etkisini inceleyen bir çalışmaya rastlanılamamıştır. %Al miktarındaki değişimin alaşımların mikroyapı, yoğunluk ve termal özellikleri ile ilişkisinin ortaya konulması gerekir. Bu bağlamda bu çalışma özgün nitelik taşımaktadır.

II. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan AZ serisi magnezyum alaşımları atmosfer kontrollü ergitme fırınlarında (CO₂ + SF₆ koruyucu gaz ortamında, 750°C de) ergitildikten sonra metal kalıplara (ön ısıtma yapılarak 260°C) dökülerek elde edilmiştir. Magnezyum alaşımlarının ergitilmesi ve metal kalıplara döküm işlemlerini kapsayan iş ve işlem aşamaları ile numunelerin elde edilmesi işlemleri Akyüz'ün [6,7] ve Ünal'ın [5] daha önceki çalışmalarında detaylı olarak açıklanmıştır. Bu çalışmada gerçekleştirilen deneylerin iş ve işlem aşamaları ile numune hazırlama işlemleri ve test prosedürlerinin detayları (mikro yapı numunelerinin zımparalanması ve parlatılması işlemleri, dağlama işlemleri ve dağlama çözeltileri vb.) yazarın önceki çalışmalarında açıklanmıştır [6,7].

Her numune üzerinde mikroyapı ve XRD analizleri yapılmıştır. X-ışını kırınım (XRD) analizleri (Panalitık-Empyrean), 2°lik bir geliş ışın açısı ile Cu K α radyasyonu altında gerçekleştirilmiştir. Sertlik testleri (0,5N ve 10N yükler kullanılarak) (Shimadzu HVM) gerçekleştirilmiştir (her numunede 6 ölçüm). AZ serisi döküm magnezyum alaşımlarının (Spectrolab M8 Optik Emisyon Spektrometrisi) test numunelerinin alaşım bileşimleri Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. AZ serisi Magnezyum Alaşım Bileşenleri
(“A” Alüminyum (Al) ve “Z” Çinko (Zn), % Ağırlıkça)

Alloys	% Al	% Zn	% Fe	% Mg
AZ01	0.1	1.2	0.024	Kalan
AZ21	2.1	1.3	0.026	Kalan
AZ41	4.2	1.2	0.025	Kalan
AZ61	6.3	1.1	0.028	Kalan
AZ91	9.3	1.2	0.022	Kalan

AZ serisi magnezyum alaşımlarının yoğunluk ölçümleri Arşimet metodu ile (Archimedes method) yapılmıştır. Alaşımların yoğunluk değerleri, He gaz ortamında 22 psi/1.5 bar basınç altında 10 cm³ numune hacimli kap kullanılarak (AccuPycII 1340 Pycnometer, Micromeritics Instrument Corp. U.S.A.) elde edilmiştir. Yoğunluk ölçümleri için her alaşımdan 3'er adet numune hazırlanmıştır (çapı 15 mm, uzunluğu 35mm olan). Her alaşım için hazırlanan bu numunelerde yoğunluk ölçümleri yapılarak bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Yoğunluk ölçüm cihazına yerleştirilen her numunede cihazın 10 tekrarlı ölçümünün ortalaması alınarak o numuneye ait yoğunluk değeri elde edilmiştir.

AZ serisi döküm magnezyum alaşımlarının termal yayılım ölçümleri yapılmıştır. Termal yayılım ölçümleri 25°C ile 400°C aralığında (12.5 mm çapında, 5 mm kalınlığında ve yüzeyleri grafit kaplanmış numuneler üzerinde, NETZSCH model LFA 457 Lazer Flaş Cihazında ve N₂ atmosfer ortamında 100.00 ml/dk gaz akışında, izotermal koşullar altında 10 dakikadan daha uzun süre) gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan alaşımların termal iletkenlik değerleri Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır [24-26]:

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

Kullanılan formüle; λ , termal iletkenlik değerini (λ : W · m⁻¹ K⁻¹), α , termal yayılım (α : m² s⁻¹), ρ yoğunluğu (ρ : g cm⁻³) ve c_p özgül ısı kapasitesini (c_p : J g⁻¹ K⁻¹ sabit) ifade etmektedir [25,26].

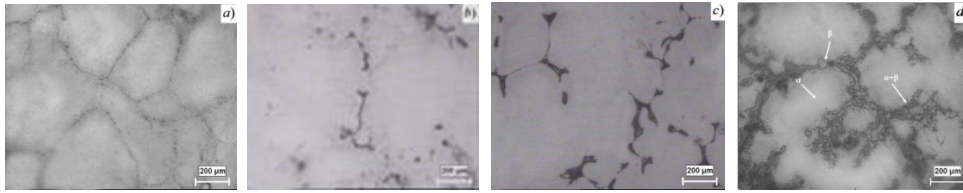
Lee ve arkadaşlarının çalışmasında [21], alüminyum miktarları arasında çok önemli fark olmadığından AZ31 ve AZ61'in özgül ısı kapasitelerinde önemli bir fark olmadığı bildirilmiştir. Lee ve arkadaşları (2013) magnezyum (1.0241 J g⁻¹K⁻¹) ve alüminyumun (0.9025 J g⁻¹K⁻¹) özgül ısı kapasitesinin oda sıcaklığında çok az farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir [21]. Bu nedenle, farklı oranlarda alüminyum eklenmesinin neden olduğu magnezyum alaşımlarının özgül ısı (c_p) kapasitelerindeki değişim sabit kabul edilmiştir. Bu çalışmada, özgül ısı kapasitesi (c_p) sabit olarak kabul edilmiştir.

Saf metallerin termal iletkenlikleri vardır ve metal alaşımlarının ise daha yüksek iletkenliğe sahip olması gerektiği düşünülebilir. Isı iletkenliği λ_1 ve λ_2 olan iki metalden yapılmış bir alaşımın termal iletkenliğinin (λ) λ_1 ve λ_2 arasında bir iletkenliğe sahip olması beklenir. Ancak durumun böyle olmadığı araştırmalar ile ortaya çıkmıştır. İki metalden oluşan bir alaşımın ısı iletkenliği genellikle her iki metalinkinden çok daha düşük olduğu görülmüştür [24].

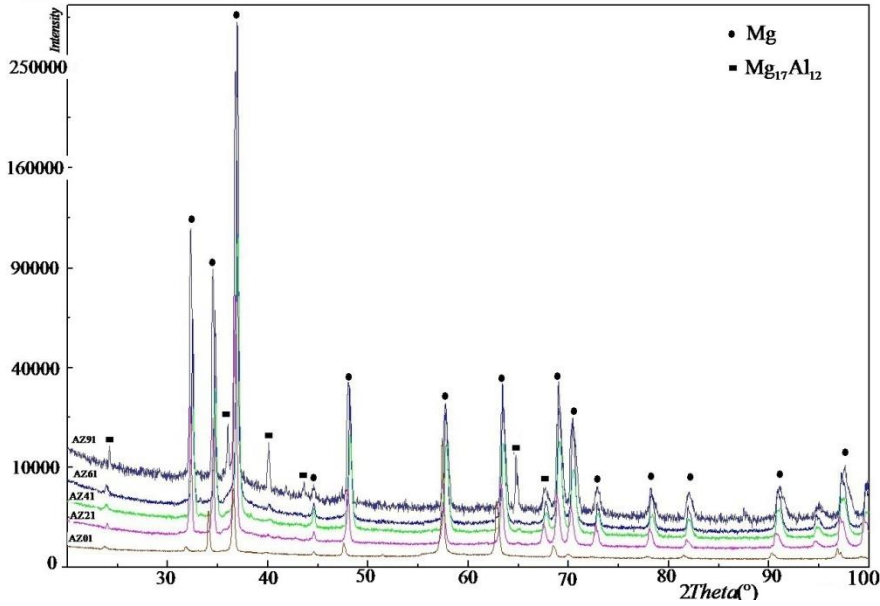
III. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

A. Mikroyapı, XRD ve Sertlik

Deneyde kullanılan alaşımların mikroyapı görüntüleri (optik mikroskop-OM) ve XRD grafikleri Şekil 1 ve Şekil 2'de görülmektedir. Çalışmada incelenen AZ serisi magnezyum alaşımlarının mikroyapısının α -Mg matrisi ile β (Mg₁₇Al₁₂) intermetalik fazı ve α + β ötektik fazından oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 1). Bu alaşımlarda, % Al miktarındaki artışa bağlı olarak mikro yapıda bulunan intermetalik fazların yerlerinin ve biçimlerinin değiştiği, literatüre uygun olarak tespit edilmiştir (Şek. 1a–d). İncelenen alaşımlar arasında AZ91 alaşımının önemli ölçüde intermetalik faza (Mg₁₇Al₁₂) sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 1d). AZ91 alaşımında (Mg₁₇Al₁₂) intermetalik fazının mikro yapı içerisinde α -Mg matrisi etrafında bir ağ şeklinde (ağa benzer) oluştuğu gözlenmiştir [6,7]. AZ21 alaşımının α -Mg tane sınırlarında ağ benzeri intermetalik fazın henüz oluşmadığı görülmektedir [6,7]. AZ serisi magnezyum alaşımı deney numunelerinin XRD grafikleri (X-ışını difraksiyonu; alaşımların kristalografik özellikleri ve içerdikleri fazlar) Şekil 2'de gösterilmiştir.

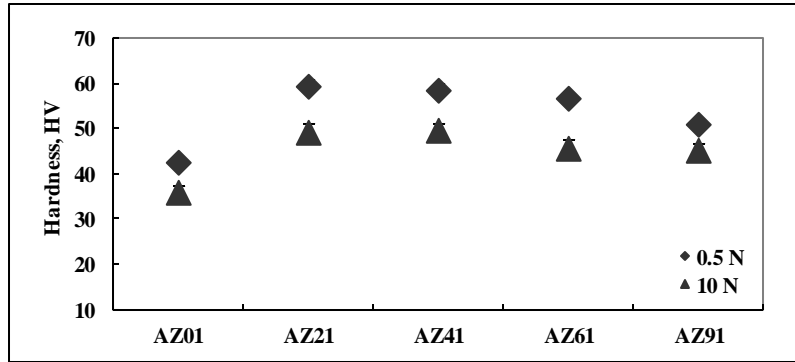


Şekil 1. AZ Serisi Magnezyum Alaşımları Mikroyapı Görüntüleri (OM) [6,7]. (a) AZ21, b) AZ41, c) AZ61 ve d) AZ91



Şekil 2. AZ Serisi Magnezyum Alaşımları XRD Grafikleri [7]

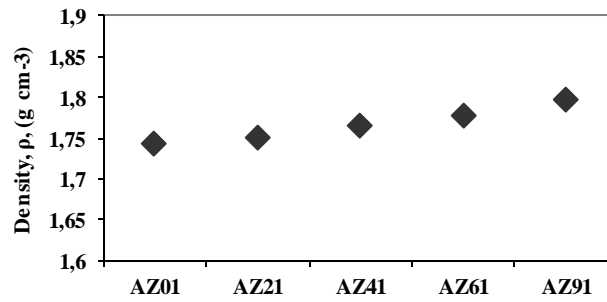
Deneyde kullanılan alaşımların sertlik değerleri Şekil 3'te verilmiştir. Alaşımların sertlik değerleri incelendiğinde en yüksek AZ21 alaşımından başlayarak (49,38 HV₁₀) AZ91 alaşımına doğru (45,9 HV₁₀) sıralandığı gözlenmiştir. En yüksek sertlik AZ21 alaşımından elde edilmiştir.



Şekil 3. AZ Serisi Magnezyum Alaşımları Sertlik Grafikleri

B. Yoğunluk ve Termal Özellikler

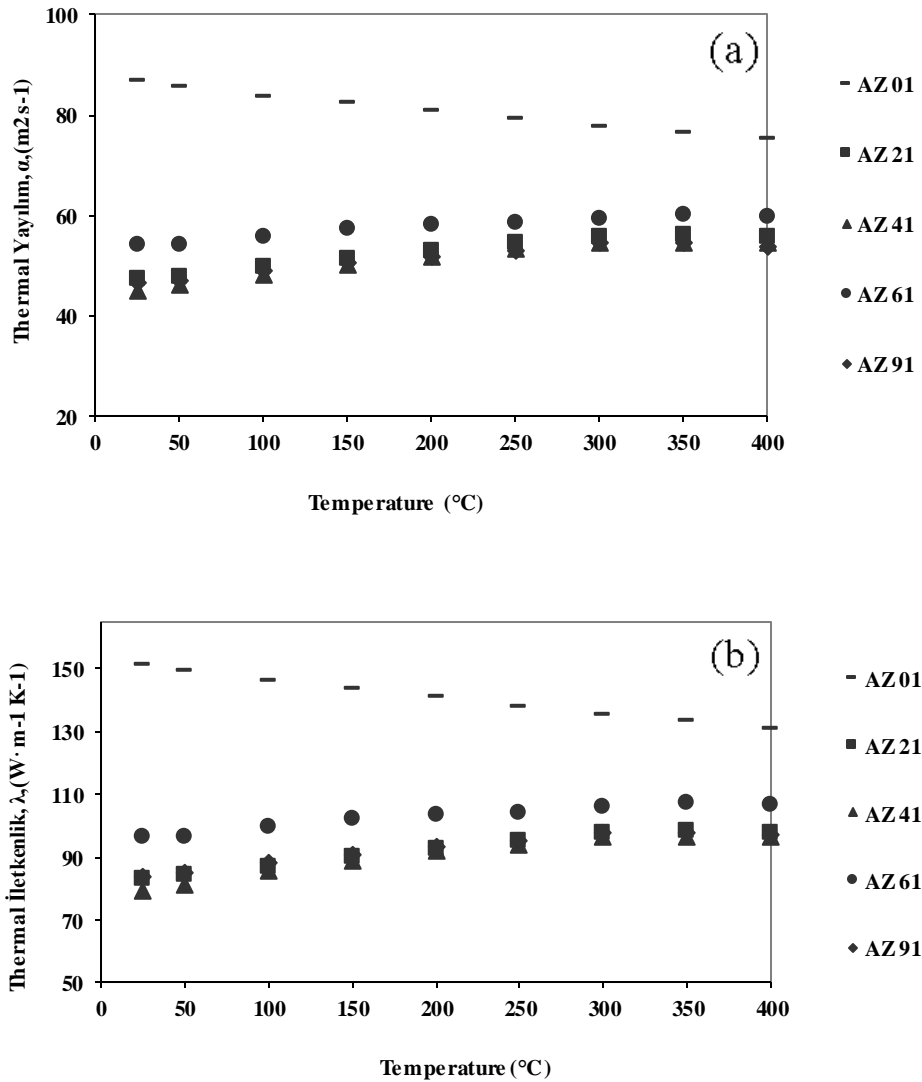
Deneyde kullanılan alaşımların yoğunluk değerleri Şekil 4'te görülmektedir. Alaşımların yoğunlukları, alaşım bileşenlerine bağlı olarak (%Al içeriğine göre) değişmektedir. Alaşımdaki Al içeriğinin artmasıyla alaşımların yoğunlukları da artmıştır. En yüksek yoğunluk AZ91 alaşımında (1.798 g cm^{-3}), en düşük yoğunluk AZ21'de (1.752 g cm^{-3}) ölçülmüştür.



Şekil 4. AZ Serisi Magnezyum Alaşımlarının Yoğunluk Grafikleri

Deneyde kullanılan AZ serisi magnezyum alaşımlarında (Şekil 5a-b), alaşım içeriğinin bir fonksiyonu olarak mikro yapı değişikliklerinin alaşımların termal özellikleri üzerindeki etkisini göstermektedir. Deneyde kullanılan magnezyum alaşımlarının ısı yayılımının ve ısı iletkenliğinin, alaşımdaki Al içeriğinin (% ağırlıkça) artmasına bağlı olarak değişimler gözlemlenmiştir (Şekil 5a-b). Deney numunelerinde sıcaklık artışına bağlı olarak ise termal özelliklerde artış (AZ01 referans numune hariç) gözlenmiştir. Literatürden bilindiği gibi saf metallerin termal özellikleri alaşımlara göre daha yüksektir [24]. Bu alaşımlarda sıcaklık artışına (25°C 'den 400°C 'ye) bağlı olarak ısı yayılımının ve ısı iletkenliğinin arttığı gözlenmiştir (Şekil 5a-b).

En yüksek termal yayılım ve termal iletkenlik (tüm sıcaklıklarda) AZ21 alaşımında meydana gelirken, en düşük termal özellikler (tüm sıcaklıklarda) AZ91 alaşımında gözlenmiştir (Şekil 5a-b'de). Alaşımların (AZ21'den AZ91'a kadar) 25°C 'deki ısı yayılım verileri dikkate alındığında, bu alaşımların ısı yayılım değerleri sırasıyla $47.63 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$, $45.08 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$, $54.23 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ ve $46.86 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ (referans numune AZ01 $86.92 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$) olduğu görülmüştür (Şekil 5a'da görülmüyor). Sıcaklık 400°C ye yükseltildiğinde, termal yayılım değerleri sırasıyla $55.87 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$, $54.61 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$, $60.09 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ ve $54.08 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ olarak (referans numune AZ01 $75.24 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$) ölçülmüştür (Şekil 5a). Bu alaşımların ısı iletkenlik değerleri 25°C 'de sırasıyla $83.44 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $79.65 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $96.42 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ve $84.25 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (referans numune AZ01 $151.52 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) hesaplanmıştır (Şekil 5b). Sıcaklık 400°C ye çıkarıldığında ısı iletkenlik değerleri $97.88 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $96.49 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $106.84 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ve $97.23 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ olarak (referans numune AZ01 $131.16 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) hesaplanmıştır (Şekil 5b). AZ serisi döküm magnezyum alaşımlarının termal özellikleri sıcaklığa bağlı olarak artmıştır (25°C 'den 400°C 'ye kadar) (Şekil 5a-b).



Şekil (5.) AZ Serisi Magnezyum Alaşımlarının (a) Termal yayılımı (Thermal diffusivity) ve (b) Termal iletkenlik (thermal conductivity) Grafikleri

Bu deneysel çalışmada, alaşım bileşenlerine bağlı olarak değişen mikroyapı özelliklerinin, AZ serisi döküm magnezyum alaşımlarının mikro yapısında bulunan intermetalik fazın ($Mg_{17}Al_{12}$) alaşımların termal özellikleri üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar literatür ile uyumludur [6-26].

IV. SONUÇLAR

Deneysel çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Denede kullanılan AZ serisi magnezyum alaşımlarında, alaşım içeriğinin (% Al artışının) bir fonksiyonu olarak mikroyapı değişikliklerinin olduğu ve bunun alaşımların termal özellikleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. % Al artışının alaşımların mikroyapısını etkilediği ($Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazı) ve alaşımların mikroyapısında görülen intermetalik fazın alaşımların yoğunluk, sertlik ve termal özellikleri/termal davranışları üzerinde etkili olduğu görülmüştür.
- Alaşımların yoğunlukları, alaşım bileşenlerine bağlı olarak değişmiştir. Alaşımdaki Al içeriğinin artmasıyla alaşımların yoğunlukları da artmıştır. En yüksek yoğunluk AZ91 alaşımında (1.798 g cm^{-3}), en düşük yoğunluk AZ21'de (1.752 g cm^{-3}) ölçülmüştür.

- Denejde kullanılan alaşımların ısı yayılımının ve ısı iletkenliğinin, alaşımdaki Al içeriğinin (% ağırlıkça) artmasına bağılı olarak azaldığı gözlemlenmiştir.
- Denej numunelerinde sıcaklık artışına bağılı olarak termal özelliklerde artış (referans numune hariç) gözlenmiştir. Alaşımlarda sıcaklık artışına bağılı olarak (25°C'den 400°C'ye) ısı yayılımın ve ısı iletkenliğinin arttığı gözlenmiştir. En yüksek termal yayılım ve termal iletkenlik (tüm sıcaklıklarda) AZ61 alaşımında gözlenmiştir. Literatürden bilindiği gibi saf metallerin termal özellikleri alaşımlarına göre daha yüksektir (AZ01).

KAYNAKLAR

- [1] Friedrich, H. E. & Mordike, B. L. (2006). *Magnesium Technology* (Vol.12). Springer-Verlag. Berlin.
- [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, 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] Mordike, B. L. & Ebert, T. (2001). Magnesium: properties-applications-potential. *Materials Science and Engineering: A*, 302(1), 37-45.
- [5] Unal, M. (2008). *An Investigation of Casting Properties of Magnesium Alloys*. PhD Thesis. Ankara, Gazi University, Institute of Science and Technology.
- [6] Akyüz, B. (2014). Comparison of the machinability and wear properties of magnesium alloys. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 75(9), 1735-1742.
- [7] Akyüz, B. (2018). Influence of Al content on machinability of AZ series Mg alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(8), 2243-2249.
- [8] Jambor, A. & Beyer, M. (1997). New cars - new materials. *Materials & Design*, 18, 4-6, 203-209.
- [9] Li, Y., Wen, C., Mushahary, D., Sravanthi, R., Harishankar, N., Pande, G., & Hodgson, P. (2012). Mg-Zr-Sr alloys as biodegradable implant materials. *Acta biomaterialia*, 8(8), 3177-3188.
- [10] Musfirah, A. H., & Jaharah, A. G. (2012). Magnesium and aluminum alloys in automotive industry. *J. Appl. Sci. Res*, 8(9), 4865-4875.
- [11] Mutua, J., JM, K., Rading, G. O., & Kimotho, J. K. (2011). Use of magnesium alloys in optimizing the weight of automobile: Current trends and opportunities.
- [12] Tomac, N., Tønnesen, K. & Mikac, T. (2008). Study of influence of aluminum content on machinability of magnesium alloys, *Strojarstvo*, 50(6), 363-367.
- [13] Tönshoff, H. K. & Winkler, J. (1997). The influence of tool coatings in machining of magnesium. *Surface and Coating Technology*, 94-95, 610-616.
- [14] Uhrčík, M., Dresslerová, Z., Palček, P., Chalupová, M., Trojanová, Z., & Hanusová, P. (2020). Amplitude Dependent Internal Friction in Strained Magnesium Alloys of AZ Series. *Crystals*, 10(7), 608.
- [15] Kuczmazewski, J., Zagorski, I., Gziut, O., Legutko, S. & Krolczyk, G. M. (2017). Chip fragmentation in the milling of AZ91HP magnesium alloy. *Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 63(11), 628-642.
- [16] Zagórski, I. & Kuczmazewski, J. (2016). Study of chip ignition and chip morphology after milling of magnesium alloys. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 10(32).
- [17] Hou, J., Zhao, N. & Zhu, S. (2011). Influence of cutting speed on flank temperature during face milling of magnesium alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 26(8), 1059-1063.
- [18] Danish, M., Ginta, T. L., Habib, K., Carou, D., Rani, A. M. A. & Saha, B. B. (2017). Thermal analysis during turning of AZ31 magnesium alloy under dry and cryogenic conditions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91(5), 2855-2868.

- [19] Liu, K., Li, X. P. & Liang, S. Y. (2007). The mechanism of ductile chip formation in cutting of brittle materials. *Int J Adv. Manuf. Technology*, 33, 875-884.
- [20] Tekumalla, S. & Gupta, M. (2017). An insight into ignition factors and mechanisms of magnesium based materials: A review. *Materials & Design*, 113, 84-98.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Yamasaki, M., & Kawamura, Y. (2009). Thermal diffusivity and thermal conductivity of Mg–Zn–rare earth element alloys with long-period stacking ordered phase. *Scripta Materialia*, 60(4), 264-267.
- [24] Cengel, Y. A. & Ghajar, A. J. (2015). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications* (Fifth Edition), Mc Graw Hill, New York.
- [25] 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.
- [26] Tritt, T.M. (2005). *Thermal conductivity: theory, properties, and applications*. Springer Science & Business Media, 290.

Araştırma Makalesi - Research Article

Examination of Visual Comfort Parameters in an Educational Building

Görsel Konfor Parametrelerinin Bir Eğitim Yapısı Üzerinden İncelenmesi

Neslihan Yıldız^{1*}

Geliş / Received: 27/02/2022

Revize / Revised: 27/04/2022

Kabul / Accepted: 27/04/2022

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the satisfaction levels of indoor users in an educational structure; to examine and reveal on the basis of visual comfort parameters (lighting, material and colour/texture). In order to determine the interior physical environment quality and user satisfaction of the design studios of the Department of Interior Architecture and Environmental Design within the structure of the Faculty of Architecture and Design, Istanbul Gedik University Campus, which was chosen as the study area; it was evaluated by taking into account the opinions of students and instructors. It is important that the research is carried out on the basis of volunteerism of the users. In this context, the users were informed about the informed consent and the Voluntary Consent Form was signed. Questionnaire forms were distributed to 100 students studying at Istanbul Gedik University, Faculty of Architecture and Design, Department of Interior Architecture and Environmental Design, and 20 lecturers working in the same department, taking into account the principle of volunteering; and the study was examined in the direction of these data. In the findings obtained as a result of the survey; students and instructors find natural lighting sufficient, they are satisfied with natural lighting and ceiling material; On the contrary, it was concluded that they were not satisfied with the artificial lighting, wall material, sitting position, not ability to see the screen / board easily in all conditions, and visual and graphic design competence. The result of the research reveals that visual comfort conditions are partially provided in Interior Architecture and Environmental Design studios.

Keywords- *Physical Comfort Conditions, Visual Comfort, User Satisfaction, Educational Buildings, Design Studios*

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, bir eğitim yapısında iç mekân kullanıcılarının memnuniyet düzeylerini; görsel konfor parametreleri (aydınlatma, malzeme ve renk/doku) temelinde incelemek ve ortaya koymaktır. Çalışma alanı olarak seçilen İstanbul Gedik Üniversitesi Kampüsü, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi binası bünyesinde İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümüne ait tasarım stüdyolarının, iç mekân fiziksel çevre kalitesi kullanıcı memnuniyetlerinin belirlenmesi amacıyla; öğrenci ve öğretim elemanı görüşleri göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Araştırmanın kullanıcıların gönüllülük esasına dayalı olarak gerçekleştirilmesi önem taşımaktadır. Bu çerçevede çalışmada, kullanıcılara aydınlatılmış onam hakkında bilgilendirme yapılmış ve Gönüllü Onam Formu imzalatılmıştır. Gönüllülük ilkesi göz önüne alınarak İstanbul Gedik Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü'nde eğitim alan 100 öğrenci ve aynı bölümde görev yapan 20 öğretim elemanına anket formları dağıtılmış; ve çalışma bu veriler doğrultusunda incelenmiştir. Anket sonucunda elde edilen bulgularda; öğrencilerin ve öğretim elemanlarının doğal aydınlatmayı

^{1*}Corresponding author contact: neslihan.yildiz@gedik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4674-2750>)

Department of Interior Architecture and Environmental Design, Faculty of Architecture and Design, Istanbul Gedik University, Istanbul

yeterli buldukları, doğal aydınlatmadan ve tavan malzemesinden memnun oldukları; tam tersi olarak ise, yapay aydınlatmadan, duvar malzemesinden, oturulan konumdan her koşulda rahatlıkla ekranı / tahtayı görememe durumundan, görsel ve grafik tasarım yeterliliğinden memnun olmadıkları sonucuna ulaşmıştır. Araştırma; İç Mimarlık tasarım stüdyoları temelinde görsel konfor koşullarının kısmen sağlandığı sonucunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler- *Fiziksel Konfor Koşulları, Görsel Konfor, Kullanıcı Memnuniyeti, Eğitim Yapıları, Tasarım Stüdyoları*

I. INTRODUCTION

For humanity to live and survive, it is needed to meet some needs. The main categories of these needs include food, leisure, and shelter. In addition to these needs, light sources are another important factor that supports main needs. For many living beings, it is not possible to survive without light. Besides its vital functions in a person's life, light is also highly important in terms of comfort in the design of interior and exterior spaces. It is also an important factor for achieving high levels of comfort. Other than the factor of light, the consideration of materials and colours/textures in interior and exterior spaces is an indicator of the degree to which the planned comfort level is supported.

Comfort is a concept that measures the satisfaction level of users about the environment they are in. In order to be healthy and productive, living spaces should provide some features related to comfort conditions depending on the usage functions. If the necessary comfort conditions are not provided, negative physiological and psychological effects occur on the users. Therefore, it is an important requirement to provide visual comfort, which plays a role in a large part of human life.

Visual comfort, one of the most significant factors that affect the productivity of individuals, is achieved by the provision of all forms of environmental conditions regarding daylight, natural lighting, and colour.

Educational buildings, which are work environments where students and instructors spend a long time during the day, are also spaces that play an important role regarding academic development. Because physical conditions of interior spaces within an educational environment will directly affect the functionality of education in a positive or negative way, spatial comfort may be considered the most important factor at this point. In terms of determining user satisfaction and spatial quality in these spaces where education-instruction activities are carried out, it is very important to provide favourable comfort conditions [1].

As classrooms in educational buildings are spaces that are utilised throughout an entire day, these spaces need to be environments that are sufficiently and uniformly lit, preferably through natural lighting. Spaces that are lit with daylight also need to include various shading elements against glare. Regarding these issues, the comfort-related expectations for working spaces increase. These expectations are met by providing user satisfaction. Visual comfort is related to the parameters of lighting, material and colour/texture.

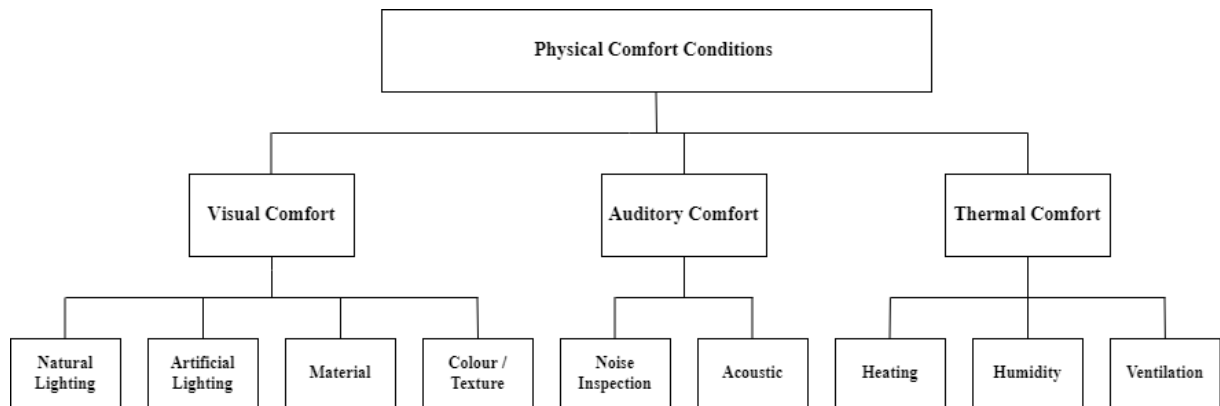


Figure 1. Physical comfort conditions and parameters [2]

Ergonomics; is a concept that aims to enable the individual to work in the most favorable comfort conditions and at the highest efficiency [2]. Therefore, it is important that visual, auditory and thermal comfort conditions are provided in addition to many elements such as spatial setup, furniture, etc. for ergonomic design

conditions in design studios. Visual comfort; natural lighting, artificial lighting, material, color/texture, auditory comfort; noise control and acoustics, and thermal comfort are related to heating, humidity and ventilation (Figure 1).

In this study, only visual comfort and its sub-parameters were discussed, and what kind of solutions should be produced in order to provide visual comfort. The purpose of this study is to examine and present the satisfaction levels of users of interior spaces in an educational building based on visual comfort parameters (lighting, material and colour/texture). This study consisted of three parts as the review of the relevant literature, the implementation of the user satisfaction survey and analysis of the responses, and the discussion of the results. After the literature review, in order to determine the interior physical environment quality and user satisfaction of the design studios of the Department of Interior Architecture within the Istanbul Gedik University campus, Faculty of Architecture and Design building, which was chosen as the study area; were evaluated by taking into account student opinions. The survey was implemented with 20 instructors and 100 students who had been experiencing the studied spaces in addition to receiving or providing education to determine their satisfaction levels as users with the physical environmental quality of the interior spaces. With the survey, by obtaining information about the satisfaction levels of the included students and instructors with the interior spaces of the studios and their expectations, some improvements were recommended regarding user needs [1].

It was a limitation of this study that only 1 large studio was examined due to limitations of time and the availability of all studios (classes, workshops, etc.), while including the remaining studios in future studies on this topic may contribute further to the literature.

This topic of study is greatly important and necessary in terms of the reflection of visual comfort criteria in the architectural/interior architectural designs of educational buildings that will be built in the future. It is also seen as important in terms of preceding more comprehensive scientific studies to be conducted in this field.

II. VISUAL COMFORT PARAMETERS

A. Lighting

An interior space is a shell that is completed with the combination of elements such as color, texture, material, lighting, mechanics, and acoustics, based on a determined concept and usage functions. These functions in the interior space are the entirety of constructions that are based on a concept, meet that concept, are shaped architecturally, and have spatial interrelations with each other. All elements used in the space, including the wall material, flooring material, ceiling material, the colours, textures of these materials, and the type of lighting that is preferred, constitute visual comfort. While visual comfort is a way of perception that varies for each user, it physically and mentally affects the user in a positive or negative way. The users of the space participate in different activities in different parts of the space. Spaces should respond to the activities to be performed in those spaces and the requirement of these activities, and the lighting design should provide the spatial design with the necessary comfort. For the existence of visual comfort, first of all, the environment must be illuminated by natural or artificial means. At the same time, some conditions must be fulfilled in order to ensure that the visual comfort conditions are fully achieved [3]. These conditions are that the illuminated object or surface is in the field of view and the relevant information about this object or surface is transmitted to the brain with the help of eyes and nerves [4]. For this reason, the level of lighting is also important. If it is an environment with very intense light, the eyes of the users will be dazzled. The level of illumination should be determined according to the nature of the work done. At the same time, it is important to use natural lighting without the need for artificial lighting as much as possible. If natural lighting is not sufficient, artificial lighting should be used [3]. Every space needs a different lighting design according to the action to be carried out in it [5].

Visual comfort is realized under the condition that physiological and psychological comfort is together. Physiological comfort is related to the measurable magnitudes (quantity) of the lighting, and psychological comfort is related to the perceived magnitudes (quality) of the lighting. It is necessary to fulfill the user's needs in order to provide psychological comfort [6]. For visual perception, there must be contrasts in colour and luminance in the area we are looking at [7]. Therefore, in determining the quantity of illuminance, it is necessary to determine the majority of illuminance first. However, glare control should be done and adaptation should be provided to ensure comfort conditions [8].

In design education, some of the spaces in which students and instructors spend most of their time are design studios. Lighting design in studios affects the mental state, health and productivity of students and instructors. Therefore, spatial comfort is determined by several factors such as the spaciousness of the studio, its

ceiling height, window sizes, lighting sources, ventilation, and seating arrangement. The most important factor in lighting design studios is natural lighting.

Natural lighting depends on daylight. Providing the necessary level of visual comfort conditions in interior spaces is important to increasing visual and mental performance in educational buildings of universities, raising the learning performance of students, and keeping motivation and productivity high for both students and instructors [9]. In the classroom environment, students consider lighting a significant design element [10]. The use of natural lighting in design studios involves the creation of a visual environment that has the appropriate conditions and can be utilised by students and the provision of visual needs in an effective and comfortable way with minimal energy consumption. In studios, for students to read and write on the horizontal plane and concentrate on the screen or board on the vertical plane, it is needed to provide sufficient lighting and adjust the angles of lighting to prevent glare [11].

In order to prevent the high glare contrast between the window and the wall on the wall surfaces where the existing windows are located in the design studios, care should be taken to ensure that the wall surface is light coloured and non-mirroring, reflecting the light diffusely [12]. Artificial lighting system of the studios; If it is created with semi-indirect or indirect lighting devices, the glare contrast between the ceiling and the light source must be prevented. In order to achieve this, the ceiling should be in light colours, especially white. In studios, to avoid glare caused by daylight, direct sunlight entering the volume, using shading devices with solar control elements; in order to prevent the glare problem caused by the artificial lighting system, the luminance values of the light sources are reduced and they are brought closer to the glare index values; measures such as enlarging the visible area of the light source or reducing the light intensity in the direction of the source can be taken [13].

B. Material

One of the parameters that provide visual comfort in the interior is the material. The choice of building materials used is important in terms of visual comfort. Poor quality material choices can adversely affect human health and comfort. It is necessary to pay attention to the quality of the materials used in the interior as well as their visuality. While an interior designed with poor quality and wrong materials can harm human health, an interior designed using quality and correct materials can offer its users a healthy space for action. In addition, the way these materials are used is one of the important factors that determines the interior quality and provides comfort.

Material use in interior and exterior space designs has a very broad spectrum, especially nowadays. Each material has unique surfaces, and these surfaces are made even more unique by differentiating them using various other materials. For example, for a wooden object, while sanding it will create a different texture, painting it will result in a smoother surface. When it is varnished, a surface that is both smooth and shiny is obtained. These preferences vary based on the place where the material will be used. Different materials lead to different perceptual effects in the space such as spaciousness, depth, warmth or coolness, and hardness and softness [14].

After examining the type of materials to be used in the interior, how they are illuminated and what their colors will be, it is important for user satisfaction what kind of surfaces these materials have and what textures they have on those surfaces. An object without texture appears neutral, that is, abstract. Having a texture makes it more understandable and defined.

The use of several materials together in the formation of a space is realized due to the properties of the materials and their suitability for the places used [15]. Thus, the variety and importance of the visual effect that each material will create in the interior, where several materials are used together, is determined [16]. In addition to their chemical, physical and mechanical properties, materials also create visual effects with their properties that vary from material to material, such as their size, color, and texture. With these properties, the material creates visual and intuitive perceptual effects such as width, depth, light etc., cold, warm, soft and hard in the space. Transparent or reflective materials, mirrors, graphic images can create virtual effects in the perception of the space.

Textile-based floor coverings; Although it seems to be suitable for a studio environment in terms of sound absorption, aesthetics, impact resistance, walking safety and comfort, it is a dust-repellent material, and it is difficult to clean and maintain. Artificial and natural stone materials; It is not preferred much because of cold contact, hard surface and noise generation. However, it is easy to clean and its physical strength is better than other floor coverings. Parquets with wooden floor coverings are comfortable, aesthetic, simple to clean and maintain materials [3].

Looking at the materials used in the design studios; In order to choose the type of wall covering material, application method and surface properties, first of all, the actions in this area should be analyzed. In addition to the importance of daylight and air quality, the wall covering material should also be easy to clean, and its color and texture should be compatible with the studio. Ceiling covering material, which is another material; It is selected by considering both functional and formal aspects in today's buildings. Acoustic ceilings are generally preferred in multiple working areas such as design studios. In these ceilings, aesthetic and easy accessibility criteria are also important. Depending on the characteristics of the space, some ventilation, electrical and installation elements can be hidden in the ceiling or left open. Another material is the floor covering material. As with every material, the purpose of use of that space and the actions performed there must be addressed in order to choose the covering of the floor covering appropriately [3].

C. Colour/Texture

One of the important parameters in providing visual comfort is the colour factor. The light source plays an important role in the perception of colours. Choosing the right colour and light source according to the function of the designed spaces is important in terms of providing comfort for the spaces in which action will take place. Materials, textures on surfaces, color selection and lighting should be considered together in interior design [17]. All materials used in the interior or exterior of the building, whether natural or artificial, have a color. Thanks to this feature, it is also a part of the architectural design [18]. Color has an important place in providing visual comfort, both with its psychological and illusion effects. In addition, it is important to take into account the perceptual properties of color in order to increase efficiency in learning activities [2].

The psychological properties of colors should be taken into account in the design of the space because colors affect the physical, mental and psychological characteristics of people [19]. Light and color are an inseparable whole, and should be considered together, in order for color to be perceived better and to create the right psychological effects [20]. The use of colors on the ceiling, wall, and flooring of the space and also has the characteristics of affecting human perception. In this way, with the use of color, the desired perception can be achieved with color in cases such as wide perception in narrow spaces or vice versa [21].

In addition to its performance and productivity-enhancing features, on-site and correct color applications in studios can also cause negative effects such as fatigue, increasing stress, reducing visual perception, and damaging eyesight when used unconsciously [2]. Light colors illuminate the place where they are used; on the other hand, it is determined by experimental studies that dark colors make it dark and difficult to understand [22]. The direction, intensity, and glare of the light used have an effect on changes in the apparent extent of the color [16]. Warm or cold spaces can be created with different textures. On the other hand, color is the design element that most affects the perception of space. While energy can be obtained by using red, peace and serenity can be achieved with green [23].

In the selection of colors used in the design of the space, the difference in the dimensions of the walls, floors and ceilings affects the perception of the space, and the physical and psychological effects of the products to be used on the surfaces (such as furniture, lighting, etc.) [17]. Another important factor in this effect is the material and texture of the surfaces to be colored. This importance emerges in the perception of color. It is necessary to perceive the color correctly, especially in the interior spaces, and to illuminate the carefully selected colors from the color circle suitable for the space [24].

Based on this information, the color tones should be correctly analyzed by the users of the space and chosen in accordance with their purpose. In the design studios, which are the subject of the research, the color factor should be taken into account in terms of both providing the physical conditions and not being affected psychologically by the users.

III. FIELD STUDY

A. Material and Method

As in all developed and developing countries of the world, the issue of education-instruction is also highly important in Turkey due to the large proportion of the young population. Educational buildings are spaces where students spend a large part of their time that play a significant role in their academic development [1]. Beyond any doubt, the spaces in these buildings where especially students and instructors spend their time most intensively are classrooms.

As the physical conditions of the interior spaces in an educational environment will have a direct positive or negative effect on the functionality of education, spatial comfort is one of the most important issues at this point.

The provision of physical comfort conditions in these spaces where education processes take place is highly important in the context of determining user satisfaction and spatial quality. Accordingly, with the design of interior spaces where learning occurs in line with comfort parameters, it will be possible to provide suitable conditions for visual comfort principles, and thus, meet the visual comfort needs of both students and instructors that are the users of these spaces [1].

In this user-centred study, 100 students and 20 instructors in the study area were reached, and they were included in a face-to-face survey. All participants for the implementation of the survey were selected through random sampling. The satisfaction levels of students of the Department of Interior Architecture and Environmental Design at the education institution that was included in this study and instructors of the department who were full-time employees were asked and aimed to be determined.

Within the Interior Architecture and Environmental Design department, there are 5 studios on 5 floors, 1 on each floor, with equal conditions. For this reason, the research was carried out on a single studio type. On some floors, 1 large studio can be transformed into 2 small studios, depending on the needs, during different training periods. However, no such intervention was made at the time the research was conducted.

This study employed a quantitative research design that aimed to learn about the views of the target audience about visual comfort in interior spaces within a certain space and time interval. The survey that was used in this study to collect data was developed by the researcher, and its validity and reliability were tested using the factor analysis and Cronbach's alpha methods. As a result of the Cronbach's alpha test regarding the reliability of the measurement instrument, the overall Cronbach's alpha internal consistency coefficient of the survey form was determined as 0.796, and it was determined that it had high reliability.

For this evaluation, a survey was conducted with 20 instructors and 100 students, who teach and study in the existing design studios of the Faculty of Architecture and Design, Department of Interior Architecture and Environmental Design of the educational institution and who have also experienced the spaces. The survey questions directed were evaluated in four factors:

Table 1. Survey questions directed to users

Lighting	<ul style="list-style-type: none">• The type of lighting used in the studio• Artificial lighting adequacy in the studio• Natural lighting adequacy in the studio• Avoiding sitting by the window, disturbed by the light, in sunny weather
Material	<ul style="list-style-type: none">• The window material of the studio• The floor material of the studio• The wall material of the studio• The ceiling of the studio• The adequacy of the studio floor material in terms of visual comfort• The adequacy of the studio wall material in terms of visual comfort• The adequacy of the studio ceiling material in terms of visual comfort
Color	<ul style="list-style-type: none">• The wall color of the studio• The amount of condensation on the wall (the amount of spill)• Satisfaction with the wall color of the studio
Spatial	<ul style="list-style-type: none">• Being able to see the screen/board easily from any sitting position in the studio• Being able to see the screen easily from any sitting position in the studio

With the survey that was implemented with users who had been experiencing the examined studio environments, by obtaining information about the satisfaction levels of the included students and instructors with

the interior spaces of the studios and their expectations, some improvements were recommended regarding user needs. The analyses of the obtained survey data were conducted using the Excel program with the method of Vertical Analysis (Percentage Analysis). The field study process was carried out by collecting and analysing the following data:

- Literature review about the concept of visual comfort and its components,
- Realization of the pilot study,
- Asking the users 16 closed-ended survey questions,
- Analysing the users' responses to the survey questions as a Likert-type scale,
- Discussing the obtained results.

Within the scope of the research, a questionnaire was applied with the approval decision of Istanbul Gedik University, Ethics Committee dated 1.01.2022 and numbered E-71457743-050.01.04-2022.137548.8-281 (see Appendix-1). In order to test the reliability of the study, a pilot survey was conducted with 25 users within the scope of the research. Afterwards, the final survey study was started. The pilot survey study was considered as the preliminary study of the survey. The questionnaire was carried out by volunteers, with the method of filling out voluntarily, with a total of 120 participants, including 100 students and 20 instructors. With the analyzes envisaged in the study, it is aimed to determine the satisfaction of the users towards the design studios and to create a preliminary resource for the future studies on the subject.

B. Characteristics of the Study Area

The areas selected for the field study were design studios of the Department of Interior Architecture and Environmental Design in the building of the Faculty of Architecture and Design at Istanbul Gedik University, which is located on the Anatolian side of Istanbul, which is one of the most economically, historically and socio-culturally prominent cities of Turkey. Within the Department of Interior Architecture and Environmental Design, there are 5 studios with equal conditions. Since all studios have equal conditions, 1 of them was examined within the scope of the study.



Figure 2. Study Area [25]



Figure 3. The Design Studios Plan (Anday Türkmen's Photo Archive 2022) [26]

General information about the Design Studio is as follows:

- The overall capacity of the Design Studio is 33 people.
- The size of the Design Studio is 105 m² (width: 8.57 m x height: 12.86m).
- The ceiling height of the Design Studio is 240 cm.
- The flooring material of the Design Studio is linoleum.
- Design Studio's floor covering color is dark orange.
- The wall material of the Design Studio is water-based paint.
- The wall color of the Design Studio is mango on the blackboard facade and gray on the other facades.
- The ceiling material of the Design Studio is a white rock wool panel suspended ceiling.
- The material of the doors and windows in the Design Studio is aluminum.

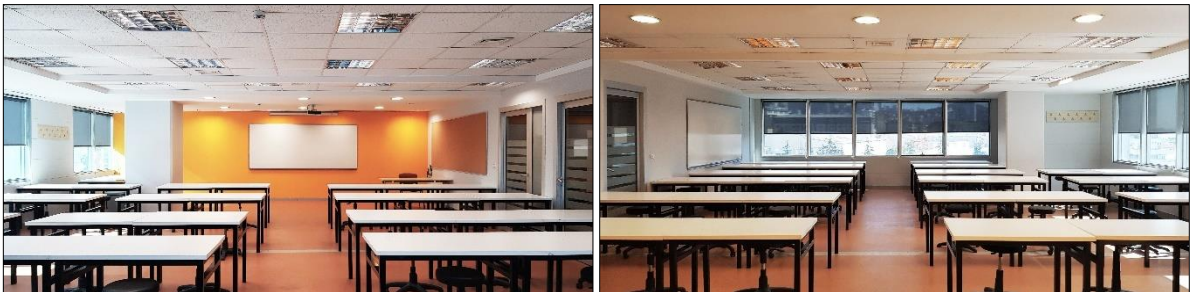


Figure 4. The Design Studios (Anday Türkmen's Photo Archive 2022) [26]



Figure 5. The Design Studios (Anday Türkmen's Photo Archive 2022) [26]

Following the review of the literature relevant to the physical comfort conditions of design studios, these conditions were investigated under the parameter of visual comfort in this study. The survey was conducted with 100 students and 20 instructors for the readability and better analysis of numbers of users and percentage ratios on plots. The survey included a total of 16 questions created based on the literature review including 5 questions on lighting, 2 questions on color, 6 questions on material, and 3 questions on space. The closed-ended questions constituted a 5-point Likert-type scale.

IV.RESULTS

According to the demographic data obtained with the implementation of the survey, 61% of the students were female, and 39% were male, whereas 70% of the instructors were female, and 30% were male (Table 2).

Table 2. Demographic characteristics of the participants

Demographic Characteristics	Students	Instructors
Female	61	14
Male	39	6

It was determined that 79% of the students and 65% of the instructors were satisfied with the natural lighting in the design studios, while 63% of the students and 60% of the instructors were generally dissatisfied with the artificial lighting (Table 3).

Table 3. Views of the participants about forms of lighting

Satisfaction Level	Natural Lighting		Artificial Lighting	
	Students	Instructors	Students	Instructors
Not satisfied at all	5	2	39	4
Not satisfied	7	2	24	8
Neither satisfied nor dissatisfied	9	3	6	3
Satisfied	71	6	19	2
Highly satisfied	8	7	12	3

The participants were asked whether they avoided sitting near the window as they were uncomfortable with light on sunny days, and it was found that 62% of the students spelling sitting near the window, whereas 55% of the instructors did not avoid it (Table 4).

Table 4. Views of the participants about sitting near the window

Preference of Sitting Near the Window	Students	Instructors
I absolutely avoid it	28	1
I avoid it	34	4
No idea	18	4
I do not avoid it	13	3
I never avoid it	7	8

The vast majority of the students, at a rate of 71%, stated that they were satisfied with the door and window material, while 50% of the instructors said they were generally dissatisfied (Table 5).

Table 5. Views of the participants about door and window material

Satisfaction Level	Students	Instructor
Not satisfied at all	4	7
Not satisfied	13	1
Neither satisfied nor dissatisfied	6	2
Satisfied	67	6
Highly satisfied	4	4

While 67% of the students stated that they considered the flooring material of the studios visually adequate, 75% of the instructors found the material visually inadequate (Table 6).

Table 6. Views of the participants about flooring material

Adequacy of Studio Flooring Material	Students	Instructors
Not adequate at all	9	8
Inadequate	7	7
No idea	17	2
Adequate	22	2
Highly adequate	45	1

When they were asked about their views of the wall material of the studios, 64% of the students and 60% of the instructors reported that they found it visually adequate in general (Table 7).

Table 7. Views of the participants about wall material

Adequacy of Studio Wall Material	Students	Instructors
Not adequate at all	11	2
Inadequate	18	3
No idea	7	3
Adequate	36	8
Highly adequate	28	4

In their views about the ceiling material of the studios, 83% of the students and 65% of the instructors found the ceiling material visually adequate (Table 8).

Table 8. Views of the participants about ceiling material

Adequacy of Studio Ceiling Material	Students	Instructors
Not adequate at all	1	2
Inadequate	12	3
No idea	4	2
Adequate	61	4
Highly adequate	22	9

To the question about the amounts of condensation (sweating) on the walls of the studios, 84% of the students and 80% of the instructors responded that there was no condensation (sweating) on the walls (Table 9).

Table 9. Views of the participants about condensation (sweating) on walls

Amount of Condensation (Sweating) on Walls	Students	Instructors
There is absolutely none	68	14
There is almost none	16	2
No idea	12	1
There is some	4	2
There is much	0	1

In their responses, 68% of the students and 75% of the instructors stated that they were not satisfied with the color of the walls of the studios (Table 10).

Table 10. Views of the participants about wall color

Satisfaction Level	Students	Instructors
Not satisfied at all	57	9
Not satisfied	11	6
Neither satisfied nor dissatisfied	0	3
Satisfied	28	1
Highly satisfied	4	1

When asked about their satisfaction with their ability to see the screen/board clearly from any angle in any seat they take in the studio, 57% of the students and 80% of the instructors were found to be dissatisfied (Table 11).

Table 11. Views of the participants about their ability to see the screen/board clearly from any angle and seat

Satisfaction Level	Students	Instructors
Not satisfied at all	9	1
Not satisfied	26	1
Neither satisfied nor dissatisfied	8	2
Satisfied	34	2
Highly satisfied	23	14

More than half of the participants were not satisfied with the adequacy of the visual and graphical elements on the walls of the studios, with a rate of 60% among the students and a rate of 70% among the instructors (Table 12).

Table 12. Views of the participants about the adequacy of visual and graphical elements on walls

Adequacy of Visual and Graphical Elements	Students	Instructors
Not adequate at all	38	11
Inadequate	32	3
No idea	9	1
Adequate	13	2
Highly adequate	8	3

V. DISCUSSION AND CONCLUSION

The limited opportunities offered by the physical environment in educational settings in which students and instructors spend a significant part of their daily lives not only affect the performance of the instructor and the success of the student but also the physiological-psychological health of both user groups. In this case, it is important to implement ergonomic design principles that will address all needs of users and create an appropriate educational environment.

In this context, this study that aimed to measure user satisfaction levels related to physical environment quality in interior spaces of design studios of the Department of Interior Architecture and Environmental Design of a university focused on investigating and presenting these satisfaction levels in the scope of visual comfort parameters (lighting, material, color/texture). This study is considered important for the establishment of basic principles that need to be paid attention to in terms of visual comfort before the design step in educational buildings. This topic that was examined in this study is crucially important in terms of the reflection of visual comfort parameters in the architectural/interior architectural designs of educational buildings to be designed in the future. Moreover, this study is seen as significant in that it provides a basis for more detailed scientific studies to be carried out.

In this study, it was determined that the educational building where the survey was implemented had a set of problems in terms of physical comfort in general and visual comfort in particular. To increase the physical performance of students and instructors who are the users of the building and ensure their physiological and psychological satisfaction, some solutions should be brought, and the comfort levels in their working environments should be increased.

Accordingly, the data that were collected in this study are synthesised in Table 13.

Table 13. General satisfaction statuses of users

Assessment Criteria		Students		Instructors	
		Satisfied	Dissatisfied	Satisfied	Dissatisfied
Lighting Criteria	Satisfaction with Natural Lighting	x		x	
	Satisfaction with Artificial Lighting		x		x
	Preference of Sitting Near the Window		x	x	
Material Criteria	Satisfaction with Door and Window Material	x		x	
	Satisfaction with Flooring Material	x			x
	Satisfaction with Wall Material	x		x	
	Satisfaction with Ceiling Material	x		x	
Color Criteria	Amount of Condensation (Sweating) on Walls	x		x	
	Satisfaction with Wall Color		x		x
Spatial Criteria	Ability to See the Screen/Board Clearly	x		x	
	Adequacy of Visual and Graphical Elements		x		x

As summarised in Table 13, while the users stated that they were dissatisfied with artificial lighting as a form of lighting, they said they found natural lighting adequate in parallel with the frequency of window openings,

and they were satisfied with it. Based on this result, it may be stated that lighting in the examined interior spaces was provided by natural light, and the users preferred natural lighting. Additionally, natural lighting has gained scientific acceptance in that it contributes to the calm, peaceful working processes of individuals, and it has increasing effects on productivity and performance. However, it is necessary to prevent glare caused by direct sunlight. In order to avoid glare according to the position of the sun and the open or closed condition of the air, besides the curtain, shading elements and even daylight guidance systems can be applied in order to make the most efficient use of daylight [11]. Artificial lighting satisfaction can be created by providing lighting control with dim (dimming according to light) controlled luminaires and motion sensors [27].

When the opinions of the users regarding the satisfaction with the materials of the doors and windows belonging to the design studios are consulted; it was concluded that both user groups were satisfied. If windows and doors are located on the interior wall, their duties are to provide the transition between spaces, to provide visual connection, and to provide indirect light and air to the dark and stuffy spaces inside [28]. From this point of view, it can be said that the material of doors and windows has no effect on satisfaction in terms of visual comfort.

Considering the users' preferences for sitting by the window; It is seen that the students are not satisfied and the instructors are satisfied. In the classroom layout scheme, since the instructor is located on the wall, instructor is minimally affected by the sun, and therefore the satisfaction with the studio can be at a good level. However, the studio, which has two facades, is located on the south-west axis. Therefore, the position of the sun in the afternoon affects the student desks that are close to the windows. Therefore, glare problem occurs in that area. This results in an inhomogeneous distribution of daylight. As a solution, it may be suggested to change the seating arrangement [29].

In the design studios where the survey in this study was conducted, the students were satisfied with the flooring material, whereas the instructors were not. Indeed, because various demands are in question for the selection of flooring materials, it is highly difficult and even impossible most of the time to decide on a single material.

When the satisfaction of the users with the wall material in the design studios is questioned, it is seen that the satisfaction is provided on the basis of both the student and the lecturer. Both user groups in this study responded to the question about their satisfaction with the ceiling material positively.

With a suspended ceiling finish under the existing ceiling, a ceiling was created to hide the installations passing through the ceiling, and at the same time to perform acoustic control, fire prevention and aesthetically serve visual comfort [30]. Considering the satisfaction of the users regarding the amount of condensation on the wall; it has been determined that both students and instructors are satisfied.

When students and instructors were asked about their satisfaction with the condensation (spill) situation on the walls in the design studios, both user groups stated that they were satisfied. No condensation (spill) was observed on the walls during the on-site observations and examinations carried out in the design studios.

In terms of color as a parameter of visual comfort, both the students and instructors in this study were dissatisfied with the color of the walls of the design studios. Several studies have revealed that the factor of color has an important role in the motivation of students and instructors and contributes positively to their social communication and behaviours [31]. It is also stated that the light reflection rate of wall surfaces with light colors is higher than 50%. Thus, it is recommended to use darker shades on wall surfaces from where light is reflected directly [2]. Based on this recommendation, it will not be a very good choice to use neutral color shades on all wall surfaces in design studios. In line with all these phenomena, the wall color of the design studios may be re-evaluated by modifying their current color.

Considering their ability to see the screen/board clearly from any angle in any condition from where they sat, both user groups stated that they were satisfied with this issue. Jayaratne and Fernando (2009) reported that the seating arrangement in a classroom is an issue that affects the health of students in the ergonomic sense [32]. The angle and distance of the position where the student sits to the board are ergonomically highly important. Similarly, considering the same issue from the perspective of the instructor, while the instructor is in a position facing the student from where the board is, their angle and distance to the student are also ergonomically important. Furthermore, it is believed that a modification to be made in this area will have a positive contribution to the communication and interaction between the student and the instructor for information exchange.

Finally, considering the visual and graphical elements on wall surfaces in the design studios, it was determined that both user groups were dissatisfied. Yavuz Öden (2021) emphasised that the importance of visual arts in a space is vast [33]. In this context, as an instrument of communication for people and for the transmission of intended messages through symbols contained by visual expressions, visual and graphical elements will contribute to visual comfort. Additionally, considering that the area of this study was a design faculty, as also stated by Karaoğlu Can and Yavuz (2020), it is undeniable that students receiving architecture/interior architecture education prepare their project presentation sheets with unique designs, comprehensible textual and visual symbols, and powerful graphical narratives [34]. Therefore, wall surfaces can include these sheets that have high levels of visual expression as the products of students derived from their courses. This way, the studio's interior space walls will function as exhibition elements that are no longer monotonous in terms of visual comfort, and students will be encouraged for their success with the inclusion of their work on these surfaces.

According to the results of this study, in the Interior Architecture and Environmental Design studios examined in this study, a sufficient level of visual comfort conditions could be achieved, and it was determined that the users were generally satisfied with the current situation. Besides, the satisfaction of visual comfort conditions by studios that are learning spaces at the centre of design education carries great importance for preventing physiologically and psychologically negative effects on not only students but also instructors and increasing their learning and teaching performance in studios. Hence, for creating an effective, comprehensive and positive learning environment, in addition to other parameters of physical comfort conditions, it is also needed to provide visual comfort conditions.

REFERENCES

- [1] Akyıldız, R., & Yıldız, N. (2020). Eğitim Yapılarında Fiziksel Konfor Koşullarının Öğrenci Memnuniyeti Üzerinden Değerlendirilmesi. 3. Uluslararası Mimarlık ve Tasarım Kongresi. 18-19 Nisan, İstanbul, 11-19.
- [2] İsmailoğlu, S., & Zorlu, T. (2018). İlk Kademe Eğitim Yapıları Dersliklerinde Fiziksel Konfor: Rize İli. *Dicle Üniversitesi I. Uluslararası Mimarlık Sempozyumu*. 4-6 Ekim, Diyarbakır, 321-346.
- [3] Saka, Z. A. (2019). *Mimarlık Ofislerinde Konfor ve Kullanıcı Memnuniyetinin Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [4] Manav, B. (2005). *Ofislerde aydınlık düzeyi, parıltı farkı ve renk sıcaklığının görsel konfor koşullarına etkisi: Bir model çalışması*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Barış, P. (2014). *Sürdürülebilirlik Açısından Doğal ve Yapay Aydınlatmanın Konutlarda İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [6] Demirci, H. (2008). *Bina Tasarımında Aydınlatma ve Renk Olgusunun Biyoharmoloji ve Biyosüreç Açısından İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [7] Sirel, H. (1992). İç ve Dış Aydınlatma Konularının Karşılaştırılması. *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Şehir Aydınlatması Kolokiyumu*. 23 Mart, Kocaeli, 7-17.
- [8] Karaoğlu Can, M., & Altuncu, D. (2021). Sergileme Mekânlarında Yapay Aydınlatma Uygulamaları. *Mimarlık ve Yaşam*, 6(2), 673-694.
- [9] Erlalelitepe, İ., Aral, D., & Kazanasmaz, T. (2011). Eğitim Yapılarının Doğal Aydınlatma Performansı Açısından İncelenmesi. *Megaron*, 6(1). 39-51.
- [10] Castilla, N., & vd. (2021). Emotional evaluation of lighting in university classrooms: A preliminary study. *Frontiers of Architectural Research*, 10 (1), 60-609.
- [11] Yener, A. K., Kutlu Güvenkaya, R., & Şener, F. (2009). İlkokul Sınıflarında Görsel Konfor ve Enerji Verimi- Bir Durum Çalışması Üzerine Araştırma. *TTMD Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi*, 62, 30-33.
- [12] Koçlar Oral, G., & Yılmaz, Y. (2010). Bir İlköğretim Tıp Projesi Örneğinde Enerji Etkin Yaklaşım. *Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi*. 4-5 Mart, İstanbul, 57-71.
- [13] Gürel Ulusan, N., & Fitöz, İ. (2017). Eğitim yapılarında enerji etkin aydınlatma: İstanbul Kağıthane Anadolu Lisesi örneği. *Tasarım + Kuram Dergisi*, 13(24), 138-147.
- [14] Ünal, B. (2013). *Mobil Konutların İç Mekân Tasarımlarının Görsel Algı Açısından İrdelenmesi: Geçici Afet Konutları Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [15] Aslan F., Aslan E., & Atik A. (2015). İç Mekanda Algı. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 5(11), 139-151.
- [16] Göler, S. (2009). *Biçim, Renk, Malzeme, Doku Ve Işığın Mekan Algısına Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [17] Özsvağ, N. (2016). İç Mekân Tasarımında Renk Algısı. *SDÜ ART-E Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi*, 9(18), 449-460.
- [18] Hardy, A. C. (1967). *Introduction, Colour in Architecture ed.* Alexander C. Hardy & Leonard Hill, London, 1.
- [19] Uçar, T. F. (2004). *Görsel İletişim ve Grafik Tasarım*. İstanbul: İnkılâp Yayınevi.
- [20] Tregenza, P. & Loe, D. (1998). *The Design of Lighting*. London: Routledge.
- [21] Kavasoğulları, A. (2021). Konut İç Mekân Tasarımında Renk ve Aydınlatma Sisteminin Kullanıcı Konforuna Etkileri. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 6(2), 583-593.
- [22] Brebner, J. (1985). *Individual Differences in Movement. Personality Theory and Movement. ed.* In B. Kirkcaldy, Medical and Technical Press, Lancaster, 27-43.
- [23] Yazıcıoğlu, D. A., & Meral, P. S. (2011). İç Mekân Tasarımının Kurum Kimliğine Uygunluğunun Ölçülmesine Yönelik Yöntem Önerisi. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(1), 111-131.
- [24] Ökmen, K., & Satıcı, B. (2021). Renk ve Işığın Kullanıcı Üzerindeki Psikolojik Etkileri Üzerine Örnek Mekan İncelemesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 4 (1), 33-46.
- [25] URL-1, Google Earth, İstanbul Gedik Üniversitesi Kartal Yerleşkesi, <https://www.google.com/maps/place/%C4%B0stanbul+Gedik+University/@40.9019264,29.2181473>, [Erişim tarihi: 05.02.2022].
- [26] Anday Türkmen's Photo Archive. (2022).
- [27] Ertuğrul, Ü. (2018). *Renk: Bir Değerlendirme Ölçütü Olarak İç Mekân Tasarımındaki Önemi ve Bir Ders İçeriği Önerisi*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Eskişehir.
- [28] Soygeniş, M. (2000).Yapı 2. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- [29] Öztürk, Y., & Kazanasmaz, Z. T. (2017). Oturma Düzeni Alternatiflerine Göre Doğal Aydınlatma Performansının Değişiminin İncelenmesi. *9. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu*. 18-19 Ekim, İzmir, 1-10.
- [30] Güler, M. B., & Kasapoğlu, E. (2021). İç Mekânlarda Asma Tavan Uygulamaları. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 6(1), 95-121.
- [31] Al Şensoy, S. & Sağsöz, A. (2015). Öğrenci Başarısının Sınıfların Fiziksel Koşulları ile İlişkisi. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi (KEFAD)*, 16(3), 87-104.
- [32] Jayaratne, I. L. K., & Fernando, D. N. (2009). Ergonomics Related to Seating Arrangements in the Classroom: Worst in South East Asia? The Situation in Sri Lankan School Children. *Work*, 34, 409-420.
- [33] Yavuz Öden, H. (2021). İç Mekan Tasarımında Çocuk Odası Yüzeyleri. *Euroasia Journal of Social Sciences & Humanities*, 8(3), 60-73.
- [34] Karaoğlu Can, M., & Yavuz, F. (2020). İç Mimarlık Eğitiminde Grafik Tasarımın Önemi ve Seçmeli Ders Önerisi. *Ulakbilge Sosyal Bilimler Dergisi*, 55, 1665-1677.

Araştırma Makalesi - Research Article

Farklı Oranlarda Sürfaktan İçeren PbS İnce Filmlerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Physical Properties of PbS Thin Films Containing Surfactant in Different Ratios

Ersin Yücel^{1*}

Geliş / Received: 28/02/2022

Revize / Revised: 07/04/2022

Kabul / Accepted: 20/04/2022

ÖZ

Bu çalışmada, polikristal kurşun sülfür ince filmler, kokamid dietanolamin varlığında kimyasal banyo depolama tekniği kullanılarak cam altlıklar üzerinde başarılı bir şekilde biriktirilmiştir. Farklı oranlarda kullanılan kokamid dietanolaminin PbS ince filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri üzerindeki etkileri X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), taramalı prob mikroskopisi (SPM) ve UV-görünür spektroskopi analizleri kullanılarak incelendi. XRD analizlerinden kokamid dietanolamin katkı miktarının artmasıyla PbS ince filmlerin kristal büyüklüklerinin 12.57 nm' den 5.43 nm' ye azaldığı elde edilmiştir. Ayrıca mikrogerilme ve dislokasyon yoğunluğu değerleri kokamid dietanolamin katkı miktarına bağlı olarak artmıştır. SEM analizi kokamid dietanolamin katkısının nanoyapılı PbS ince filmlerin yüzey morfolojilerini etkilediğini göstermektedir. SPM analizi kokamid dietanolamin katkısının artmasıyla ince filmlerin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığını göstermiştir. UV-görünür spektroskopi analizi ile %1 kokamid dietanolamin katkı miktarında PbS ince filmin optik geçirgenlik değerinin yaklaşık olarak 3 kat arttığı elde edilmiştir. Ayrıca, kokamid dietanolamin miktarına bağlı olarak PbS ince filmlerin optik bant aralığı değerleri 1.87 eV' tan 2.53 eV' a artmıştır.

Anahtar Kelimeler- *PbS, İnce Film, Sürfaktan, Kimyasal Banyo Depolama*

ABSTRACT

In the present study, polycrystalline lead sulfide thin films have been successfully deposited on glass substrates using chemical bath deposition technique in the presence of cocamide diethanolamine. The effects of cocamide diethanolamine used in different ratios on the structural, morphological, and optical properties of PbS thin films were investigated using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), scanning probe microscopy (SPM) and UV-visible spectroscopy analyses. From the XRD analysis, it was obtained that the crystal size of the PbS thin films decreased from 12.57 nm to 5.43 nm with the increase in the amount of cocamide diethanolamine additive. In addition, the microstrain and dislocation density values increased depending on the amount of cocamide diethanolamine additive. SEM analysis shows that cocamide diethanolamine additive affects the surface morphology of nanostructured PbS thin films. SPM analysis showed that the surface roughness values of the thin films increased with the increase of cocamide diethanolamine additive. By UV-visible spectroscopy analysis, it was obtained that the optical transmittance value of the PbS thin film increased approximately 3 times at the amount of 1% cocamide diethanolamine additive. In addition, the optical band gap values of PbS thin films increased from 1.87 eV to 2.53 eV depending on the amount of cocamide diethanolamine.

Keywords- *PbS, Thin Film, Surfactant, Chemical Bath Deposition*

^{1*}Sorumlu yazar iletişimi: eyucel@mku.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-8179-0179>)
Fizik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, Türkiye

I. GİRİŞ

Kurşun sülfür (PbS) ince filmler IV-VI grubuna ait p-tipi yarıiletken malzemelerdir ve metal kalkojenit ince filmler arasında önemli bir yere sahiptir [1]. PbS, 300 K sıcaklıkta 0.41 eV direkt bant aralığına sahiptir. Kurşun sülfürün direkt bant aralığı 0.41 eV ile 2.3 eV aralığında değişebilir [2]. PbS ince filmler, fotodedektör ve gaz sensörü gibi uygulama alanlarına sahiptir. Ayrıca, güneş pilleri için bir soğurucu olarak ta kullanılmaktadır [3-5]. PbS ince filmler, kimyasal banyo depolama (CBD), ardışık iyonik tabaka adsorpsiyonu ve reaksiyonu (SILAR), sol-jel, kimyasal buhar biriktirme, elektrodepozisyon, vakum buharlaştırma, darbeli lazer biriktirme, sprey piroliz gibi yöntemlerle üretilmektedir [6-13]. PbS ince filmleri üretmek için kullanılan yöntemler arasında kimyasal banyo depolama yöntemi, geniş yüzeylere uygulanabilmesi, düşük sıcaklıkta üretilebilmesi ve düşük maliyetli olması gibi birçok avantaja sahiptir [6]. İnce filmlerin yüzey morfolojileri ve optik özellikleri fotovoltaj cihazların uygulamaları açısından önemlidir. İnce filmlerin üretiminde sürfaktan kullanılması ile filmlerin yüzey morfolojileri ve yüzey pürüzlülük değerleri değiştirilebilmektedir. Filmlerin yüzey morfolojilerindeki değişim optik özelliklerini etkilemektedir [1,14]. Sürfaktan kelimesi surface active agent sözcüklerinin harflerinden oluşan bir kısaltmadır ve yüzey aktif madde yerine kullanılır. Yüzey aktif madde suda veya sulu bir çözeltide çözündüğünde yüzey gerilimini etkileyen (çoğunlukla azaltan) kimyasal bileşiktir. Yüzey aktif maddeler aynı zamanda iki sıvı arasındaki yüzeyler arası gerilimi de etkiler [15]. Bu çalışmada, literatürde ilk kez PbS ince filmlerin üretiminde sürfaktan olarak kokamid dietanolamin kullanılmıştır. Farklı oranlarda kullanılan sürfaktanın PbS ince filmlerin yapısal, optik ve morfolojik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Kurşun sülfür ince filmler depozisyon çözeltisinde sürfaktan kullanılmadan ve %0.25, %0.50, %1.00 oranlarında sürfaktan kullanılarak kimyasal banyo depolama yöntemiyle üretilmiştir. PbS ince filmlerin üretimi için 2.5 mL, 0.5 M kurşun (II) asetat trihidrat, 3 mL, 1.0 M tiyoüre, 1 mL, 1.0 M trietanolamin ve 0,1 mL, 1.0 M tri-sodyum sitratın art arda eklenmesiyle kimyasal banyo hazırlandı. Tiyoüre sülfür kaynağı olarak, trietanolamin ve tri-sodyum sitrat ise kompleksleştirici olarak kullanılmıştır. Kimyasal banyo çözeltisine yüzey aktif madde olarak kokamid dietanolamin eklenmiştir. Kimyasal banyo çözeltisinin pH değeri 2.0 M NaOH ilave edilmek suretiyle 12.5 olarak belirlendi. PbS ince filmlerin (75 x 25 x 1 mm) boyutlarındaki cam yüzey üzerine depolama işlemi sonrasında tüm PbS kaplı filmler saf su ile yıkandı ve kurutuldu. XRD ölçümleri için Rigaku Smart Lab X-ışını kırınım ölçer kullanılmıştır. Sentezlenen PbS filmlerinin morfolojisini araştırmak için JEOL 5500/ OXFORD Inca-X SEM kullanıldı. Numunelerin optik özellikleri, UV-görünür spektrofotometre (Thermo Scientific Evolution 160) kullanılarak incelenmiştir. PbS ince filmlerin yüzey pürüzlülüğü değerleri taramalı prob mikroskobu (Hysitron TI 950 TriboIndenter) ile ölçülmüştür.

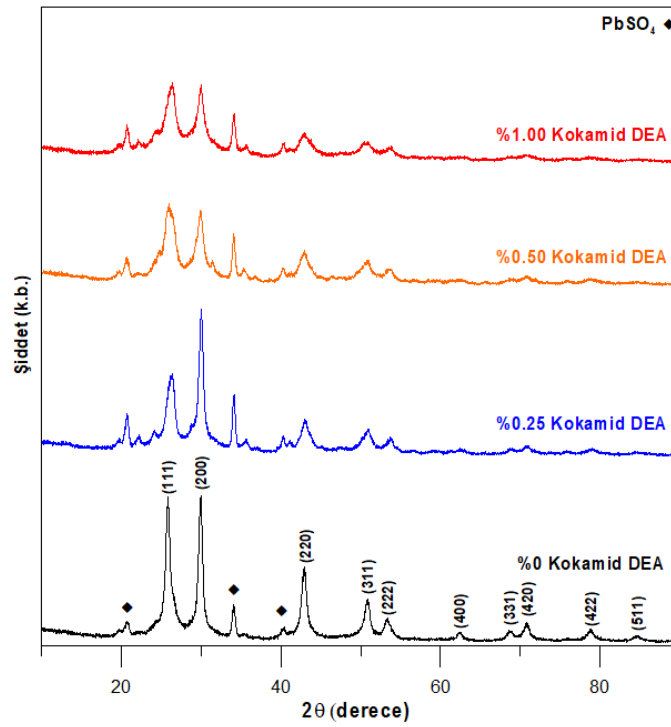
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. Yapısal Özellikler

PbS ince film depolama çözeltisinde sürfaktan olmadan üretilen filmin XRD deseni ile farklı oranlarda sürfaktan kullanılarak üretilen ince filmlerin XRD desenleri Şekil 1' de görülmektedir. Şekil 1' den tüm numunelerin XRD desenlerinin polikristal PbS faz yapısında olduğu görülmektedir. XRD desenlerinin incelenmesi sonucunda PbS ince filmlerin kübik yapıda oluştuğu ve Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS: 05-0592) verilerinin standart değerleriyle iyi bir uyum içinde olduğu elde edilmiştir. Ayrıca tüm numunelerde PbSO₄ fazı olduğu gözlenmiştir. PbSO₄ fazının kokamid dietanolamin katkılı numunelerde katkısız numuneye göre bir miktar arttığı görülmektedir. Kokamid dietanolamin konsantrasyonunun filmlerin tercih edilen kristalografik yönelimi üzerindeki etkilerini incelemek için, aşağıdaki denklem kullanılarak texture katsayıları TC_(hkl) hesaplanmıştır [1].

$$TC_{(hkl)} = \frac{I_{(hkl)}/I_{0(hkl)}}{N^{-1} \sum_N I_{(hkl)}/I_{0(hkl)}} \quad (1)$$

burada I_(hkl) bir düzlemin ölçülen pik şiddetidir, I_{0(hkl)} toz kırınım dosya kartından elde edilen standart pik şiddettir ve N, XRD piklerinin sayısıdır. Her bir numunenin (111), (200), (220) ve (311) yansıma piklerinin texture katsayıları Tablo 1' de listelenmiştir.



Şekil 1. Farklı kokamid dietanolamin konsantrasyonlarında elde edilen PbS filmlerin XRD desenleri

Tablo 1. PbS ince filmlerin kokamid dietanolamin miktarına bağlı $TC_{(hkl)}$ değerleri ve pik şiddetleri.

Büyüme çözeltisindeki kokamid dietanolamin miktarı %	Pik şiddetleri		$TC_{(hkl)}$			
	(200)	(111)	(200)	(111)	(220)	(311)
0	2828	2808	1.42	1.41	0.74	0.44
0.25	2818	1615	1.95	1.12	0.53	0.40
0.50	1472	1597	1.36	1.47	0.67	0.50
1.00	1528	1572	1.45	1.49	0.61	0.45

Tablo 2. PbS ince filmlerin kokamid dietanolamin miktarına bağlı FWHM, kristal büyüklüğü, mikrogerilme, dislokasyon yoğunluğu ve bant aralığı değerleri.

Büyüme çözeltisindeki kokamid dietanolamin miktarı %	FWHM (radian)	Kristal büyüklükleri (D) (nm)	Mikrogerilme (ϵ) $\times 10^{-3}$	Dislokasyon yoğunluğu (ρ) $\times 10^{15}$ (cm^{-2})	Yasak enerji bant aralığı (eV)
0	0.01192	12.57	2.88	5.79	1.87
0.25	0.01256	11.93	3.03	6.43	2.06
0.50	0.02327	6.44	5.62	22.1	2.40
1.00	0.02757	5.43	6.66	31.0	2.53

Tüm numuneler içinde (200) düzleminin en yüksek (1.95) $TC_{(hkl)}$ değerine sahip olduğu elde edilmiştir. Eğer filmlerin kristalografik yönelimi varsa texture katsayısının birden büyük olduğu literatürden bilinmektedir [1]. Buna göre tüm numuneler için (200) ve (111) düzlemlerinin tercihli yönelime sahip düzlemler olduğu söylenebilir. Ayrıca Tablo 1’ de tüm numunelerin (200) ve (111) düzlemlerinin pik şiddetleri verilmiştir. Sürfaktan miktarının artmasıyla, katkısız numuneye kıyasla (200) ve (111) düzlemlerinin pik şiddetlerinde azalma olduğu görülmektedir. Bunun sebebi büyüme çözeltisindeki kokamid dietanolamin varlığının filmlerde bazı yapısal bozukluklara sebep olması olabilir [18]. PbS ince filmlerin XRD verileri kullanılarak elde edilen FWHM, kristal

büyüklüğü, mikrogerilme, dislokasyon yoğunluğu ve bant aralığı değerleri Tablo 2' de verilmiştir. Numunelerin kristal büyüklüğü (D) Debye-Scherrer denklemi ile hesaplanmıştır [2].

$$D = \frac{0.94\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (2)$$

Mikrogerilme (ϵ) ve dislokasyon yoğunluğu (ρ) değerleri ise aşağıdaki ifadeler kullanılarak hesaplanmıştır [2].

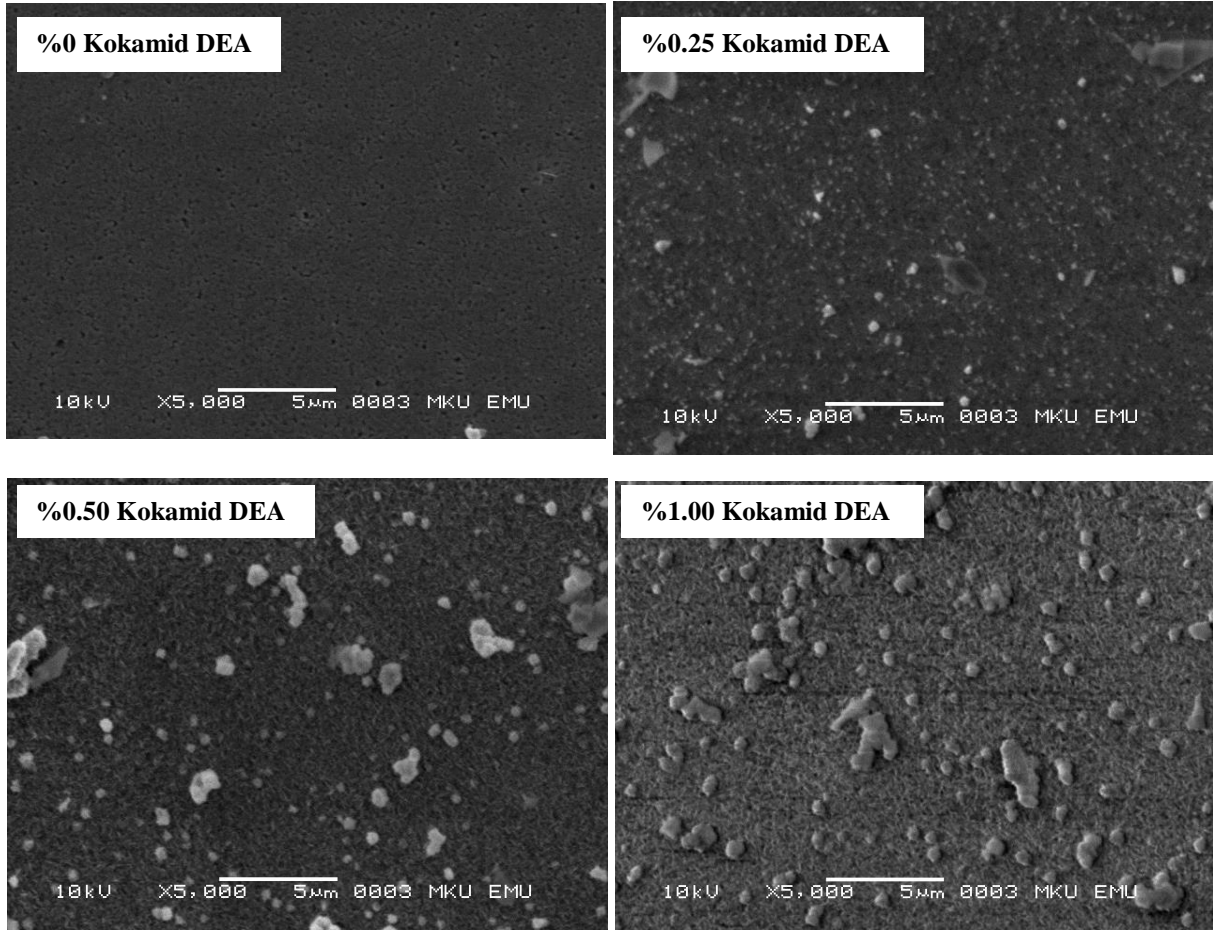
$$\epsilon = \frac{\beta \cos\theta}{4} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{15\epsilon}{aD} \quad (4)$$

Burada, λ = gelen X-ışınının dalga boyu (1.54056 Å), β =yarı pik genişliği, θ =Bragg açısı ve a = örgü parametresidir. Sürfaktan miktarının artmasıyla PbS ince filmlerin kristal büyüklüklerinin 12.57 nm' den 5.43 nm' ye azaldığı elde edilmiştir. Metal-kalkojenit ince filmlerin üretiminde kullanılan deney koşullarının ince filmlerin kristal büyüklükleri üzerinde önemli rol oynadığı ve farklı sürfaktanların nanoparçacıkların büyüklüğünü değiştirebildiği bilinmektedir. Büyüme çözeltilisindeki kokamid dietanolamin varlığı çekirdeklenme sürecini etkileyerek daha küçük kristallerin oluşumuna yol açmış olabilir [1,19,20]. Ayrıca, artan sürfaktan katkısıyla numunelerin mikrogerilme ve dislokasyon yoğunluğu değerleri artmaktadır. Bu artış kristal büyüklüklerindeki azalmaya bağlanabilir. Film büyüme çözeltilisinde artan kokamid dietanolamin miktarına bağlı olarak piklerde genişleme gözlenmiştir. Piklerdeki genişleme kristal büyüklüklerindeki azalma ile ilişkilendirilebilir. Kristal büyüklüklerinin azalması tane sınırında bir artışa neden olabilir ve bunun sonucunda yapıdaki mikrogerilme ve dislokasyon yoğunluğu artabilir [1,19,21].

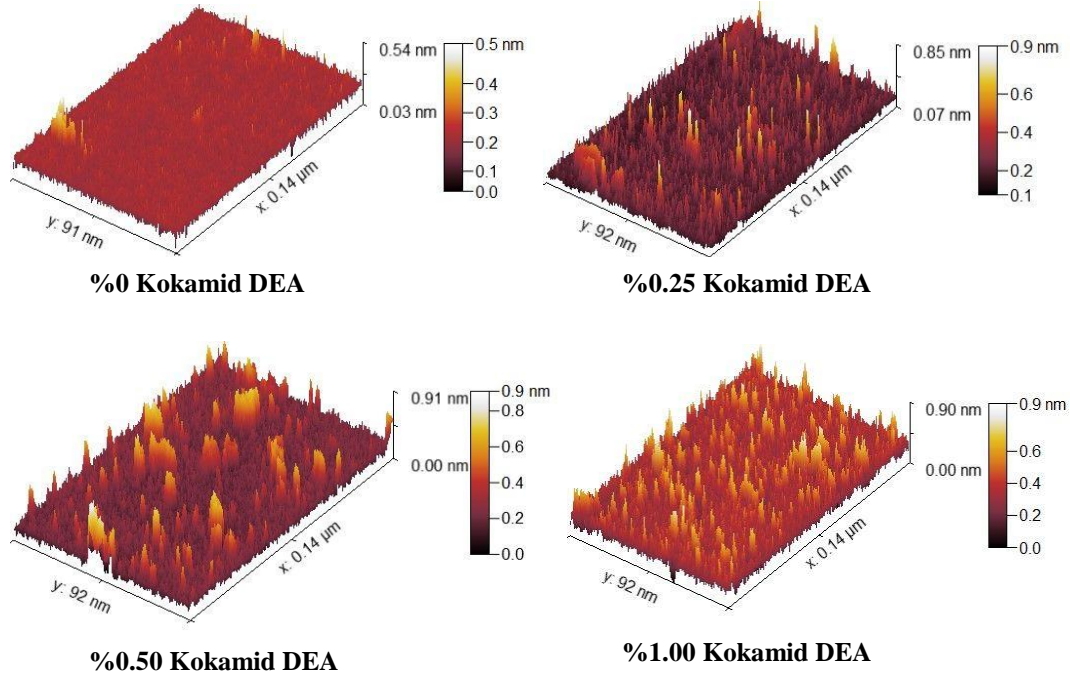
B. Morfolojik Özellikler

Şekil 2' de numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde sürfaktan miktarının artmasıyla filmlerin yüzey morfolojilerinin etkilendiği görülmektedir. Katkısız olarak hazırlanan PbS ince filmin yüzeyi homojen bir yapıdadır fakat film yüzeyinde bazı boşluklar olduğu görülmektedir. Kokamid dietanolamin katkılı ince filmlerin daha sıkı yapıda olduğu ve film yüzeyinde boşlukların olmadığı elde edilmiştir. Sürfaktanlar ince filmlerin yüzey morfolojilerinin kontrol edilmesinde etkili maddeler olarak kabul edilmektedir [22]. Büyüme çözeltilisindeki kokamid dietanolamin konsantrasyonunun artmasıyla çekirdeklenme hızına bağlı olarak PbS nanoparçacıkların yoğunlaşmasının arttığı ve film yüzeyindeki boşlukların azaldığı söylenebilir.



Şekil 2. PbS ince filmlerin kokamid dietanolamin miktarına bağlı SEM görüntüleri

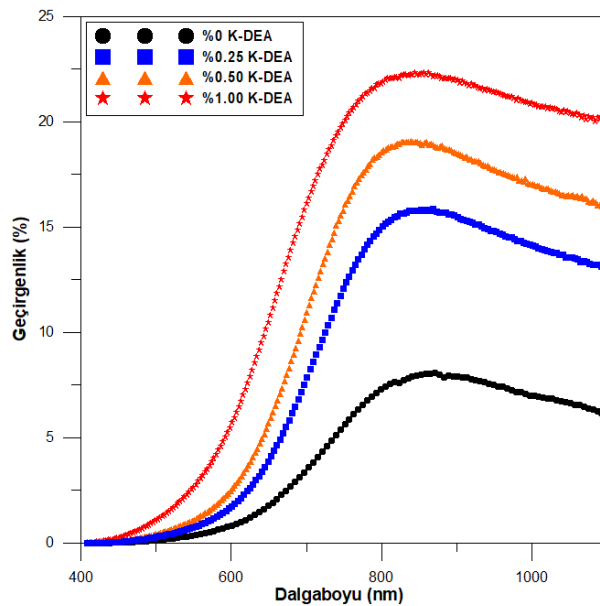
İnce filmlerin yüzey morfolojisini analiz etmenin alternatif yöntemlerinden biri taramalı prob mikroskobu (SPM) yöntemidir. PbS ince filmlerin yüzey pürüzlülüğü değerleri taramalı prob mikroskobu ile ölçülmüştür. Şekil 3 PbS ince filmlerin üç boyutlu SPM görüntülerini göstermektedir. %0, %0.25, %0.50 ve %1.00 katkı oranlarına sahip numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri sırasıyla, 15.71 nm, 30.96 nm, 47.69 nm ve 58.27 nm olarak elde edilmiştir. Sürfaktan katkı oranına bağlı olarak artan yüzey pürüzlülüğü ince filmlerin üretiminde kullanılan sürfaktanın bu ince filmlerin yüzey pürüzlülüğü değerlerini değiştirebildiğini göstermiştir.



Şekil 3. PbS ince filmlerin kokamid dietanolamin miktarına bağlı SPM görüntüleri

C. Optik Özellikler

PbS ince filmlerin farklı oranlardaki sürfaktan kokamid dietanolamin miktarına bağlı olarak, 400 nm ile 1100 nm dalga boyu aralığındaki optik geçirgenlik spektrumları Şekil 4’ te gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi %0, %0.25, %0.50 ve %1.00 katkı oranlarına sahip numunelerin 400 nm ile 1100 nm aralığındaki optik geçirgenlik değerleri sırasıyla %8.3, %16, %19.3 ve %22.6 olarak elde edilmiştir. PbS ince filmlere yapılan sürfaktan katkısının filmlerin optik geçirgenlik değerlerini artırdığı elde edilmiştir. Filmlerin optik geçirgenlik spektrumları incelendiğinde 400 nm ile 650 nm aralığında gözlenen absorpsiyon kenarının kokamid dietanolamin konsantrasyonunun artmasıyla daha kısa dalga boylarına doğru kaydığı gözlemlenebilir. Absorpsiyon kenarındaki bu kayma optik bant aralığının arttığını göstermektedir [1,16].

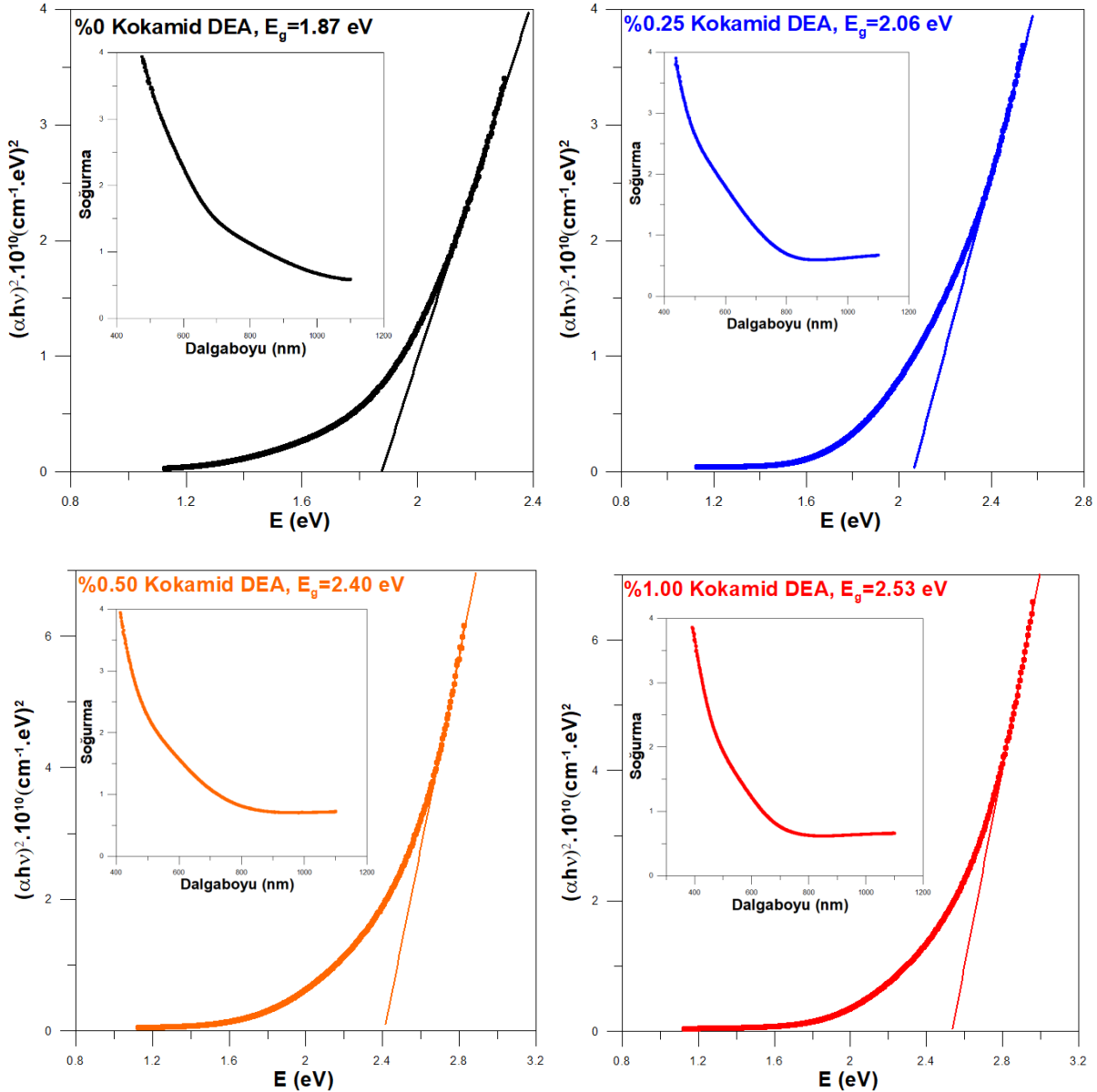


Şekil 4. Farklı kokamid dietanolamin konsantrasyonlarında elde edilen PbS filmlerin optik geçirgenlik spektrumları

Filmlerin optik bant aralığı değerleri Tauc denklemini kullanılarak hesaplanmıştır [6,7].

$$(\alpha h\nu) = C(h\nu - E_g)^n \quad (5)$$

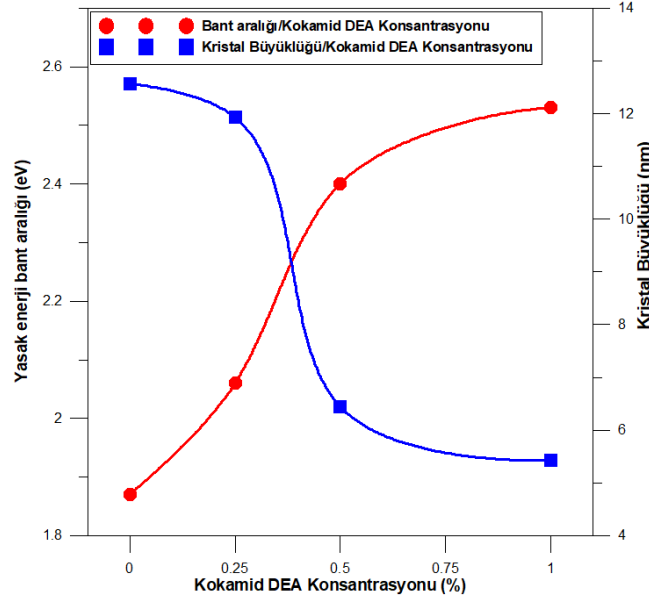
burada, α =soğurma katsayısı, h =Planck sabiti, ν =foton frekansı, C =sabit sayı E_g optik bant aralığı değeri ve n optik geçiş türüne bağlı bir sayıdır. Burada PbS yarıiletken malzemesi doğrudan bant geçişine sahip olduğu için n değeri 1/2 olarak alınmıştır. Şekil 5 tüm numuneler için $(\alpha h\nu)^2$ nin $h\nu$ ye göre çizilen grafiklerini ve optik soğurma spektrumlarını göstermektedir.



Şekil 5. PbS ince filmlerin kokamid dietanolamin miktarına bağlı optik bant aralığı spektrumları

Şekilden görüldüğü gibi katkısız PbS numunesinin optik bant aralığı 1.87 eV olarak elde edilmiştir. Kokamid dietanolamin katkı miktarının artmasıyla %0.25, %0.50 ve %1.00 katkı oranlarına sahip numuneler için optik bant aralığı değerleri sırasıyla, 2.06 eV, 2.40 eV ve 2.53 eV olarak elde edilmiştir. PbS ince filmlerin optik bant aralığındaki bu artış filmlere yapılan sürfaktan kokamid dietanolamin katkısının filmlerin optik özelliklerini önemli derecede etkilediğini göstermektedir. Optik bant aralığındaki bu artış filmlerin kristal büyüklüğünün azalmasıyla ilgili olabilir. İnce filmlerin kristal büyüklüğü ile ilgili, XRD analizinden elde edilen sonuçlar ince

film numunelerinin optik bant aralığındaki artışı doğrulamaktadır. Ayrıca PbS ince film oluşumu sırasında çözeltide homojen çekirdeklenme meydana geldiği ve çözeltideki homojen çekirdeklenmenin filmde pürüzlü bir yüzey oluşumuna neden olduğu düşünülmektedir [23]. SPM analizi ile elde edilen sonuçlar, büyüme çözeltisinde artan kokamid dietanolamin miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün arttığını göstermiştir. Şekil 6’ da PbS ince filmlerin optik bant aralığı ve kristal büyüklüğü arasındaki ters davranış gösterilmektedir.



Şekil 6. PbS ince filmlerin kokamid dietanolamin konsantrasyonlarının bir fonksiyonu olarak optik bant aralığı ve kristal büyüklüğü değişimi

PbS ince filmlerin artan kokamid dietanolamin miktarına bağlı olarak kristal büyüklüğünün azalmasına karşılık optik bant aralığının artması kuantum hapsi etkisi ile açıklanabilir. Nanoyapılı malzemelerin kristal büyüklüğü Bohr eksiton çapından (~36 nm) daha küçükse kuantum hapsi etkisi optik bant aralığı değerlerinin artmasına sebep olur [2,17]. Ayrıca, Şekil 5’ teki optik soğurma spektrumlarından görüldüğü gibi üretilen PbS ince filmlerde gözlenen görünür aralıktaki yüksek absorpsiyon, bu filmlerin güneş enerjisi soğurucuları olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada nanoyapılı PbS ince filmler cam altlıklar üzerinde farklı sürfaktan kokamid dietanolamin konsantrasyonlarında kimyasal banyo depolama yöntemi kullanılarak başarılı bir şekilde üretilmiştir. Farklı oranlardaki (%0.25, %0.50, %1.00) kokamid dietanolamin katkısının PbS ince filmlerin yapısal, optik, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey morfolojisi özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. XRD analizi ile ince filmlerin kübik PbS faz yapısında olduğu ve (200) ve (111) düzlemlerinin tercihli yönelime sahip düzlemler olduğu elde edilmiştir. Ayrıca, kokamid dietanolamin katkı miktarının artmasıyla PbS ince filmlerin kristal büyüklüklerinin 12.57 nm’ den 5.43 nm’ ye azaldığı ve mikrogerilme ile dislokasyon yoğunluğu değerlerinde arttığı elde edilmiştir. SPM analizinden, sürfaktan katkısının artmasıyla ince filmlerin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin 15.71 nm’ den 5.827 nm’ ye arttığı elde edilmiştir. SEM analizinden sürfaktan katkılı ince filmlerin daha sıkı yapıda olduğu ve film yüzeyinde boşlukların olmadığı elde edilmiştir. Optik analizlerden sürfaktan katkı miktarının artmasıyla PbS ince filmlerin optik bant aralığı değerlerinin 1.87 eV’ tan 2.53 eV’ a optik geçirgenlik değerlerinin %8.3’ ten %22.6’ ya arttığı elde edilmiştir. Sonuç olarak, sürfaktan kokamid dietanolamin katkısının PbS ince filmlerin yapısal, optik ve morfolojik özellikleri üzerinde önemli etkisinin olduğu ve filmlerin optik bant aralığı değerlerini önemli ölçüde artırdığı elde edilmiştir. Bu sonuçlar kokamid dietanolamin katkılı PbS ince filmlerin güneş pili uygulamalarında soğurucu malzeme olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Yücel, E. (2019). Using of CAPB as a surfactant to improve the surface morphology and optical features of PbS films. *Superlattices and Microstructures*, 135, 106287.

- [2] Yücel, E., & Yücel, Y. (2017). Fabrication and characterization of Sr-doped PbS thin films grown by CBD. *Ceramics International*, 43, 407-413.
- [3] Shu, L.L., Guang T.F., Shao H.X., & Xu D.G. (2021). High-performance visible-near IR photodetectors based on high-quality Sn²⁺-sensitized PbS films. *Journal of Alloys and Compounds*, 883, 160860.
- [4] Patil, S.V., Deshmukh, P.R., & Lokhande, C.D. (2011). Fabrication and liquefied petroleum gas (LPG) sensing performance of p-polyaniline/n-PbS heterojunction at room temperature. *Sensors and Actuators B*, 156, 450-455.
- [5] Patel, J., Mighri, F., Ajji, A., Tiwari, D., & Chaudhuri, T.K. (2014). Spin-coating deposition of PbS and CdS thin films for solar cell application. *Appl. Phys. A*, 117, 1791-1799.
- [6] Yücel, E., Yücel, Y., & Beleli, B. (2015). Optimization of synthesis conditions of PbS thin films grown by chemical bath deposition using response surface methodology. *Journal of Alloys and Compounds*, 642, 63-69.
- [7] Yücel, E., Yücel, Y., & Beleli, B. (2015). Process optimization of deposition conditions of PbS thin films grown by successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method using response surface methodology. *Journal of Crystal Growth*, 422, 1-7.
- [8] Martucci, A., Fick, J., Leblanc, S.E., Locascio, M., & Hache, A. (2004). Optical properties of PbS quantum dot doped sol-gel films. *J. Non-Cryst. Solids*, 345, 639-642.
- [9] Akhtar, J., Afzaal, M., Vincent, M.A., Burton, N.A., Hillier, I.H., & O'Brien, P. (2011). Low temperature CVD growth of PbS films on plastic substrates. *Chem. Commun.*, 47, 1991-1993.
- [10] Sharon, M., Ramaiah, K.S., Kumar, M., Neumann-Spallart, M., & Levy-Clement, C. (2011). Electrodeposition of lead sulphide in acidic medium. *J. Electroanal. Chem.*, 66, 265-269.
- [11] Kumar, S., Sharma, T.P., Zulfequar, M., & Husain, M. (2003). Characterization of vacuum evaporated PbS thin films. *Physica B*, 325, 8-16.
- [12] Rebhi, A., Hajjaji, A., Leblanc-Lavoie, J., Aouida, S., Gaidi, M., Bessais, B., & El Khakani, M.A. (2021). Effect of the Helium Background Gas Pressure on the Structural and Optoelectronic Properties of Pulsed-Laser Deposited PbS Thin Films. *Nanomaterials*, 11, 1254.
- [13] Paulraj, K., Ramaswamy, S., Yahia, I.S., Alshehri A.M., Somaily H.H., Kim, H.S., & Kathalingam, A. (2020). Praseodymium doped PbS thin films for optoelectronic applications prepared by nebulizer spray pyrolysis. *Appl. Phys. A*, 126, 503.
- [14] Nikam, S.S., Suryawanshi, M.P., Gaikwad, M.A., Kim J.H., & Moholkar A.V. (2017). Photoelectrochemical performance of surfactant (polyvinyl alcohol) assisted PbS thin films grown by chemical route. *J Mater Sci: Mater Electron*, 28, 5165-5173
- [15] Bakshi, M.S. (2016). How Surfactants Control Crystal Growth of Nanomaterials. *Cryst. Growth Des.*, 16, 1104-1133.
- [16] You, Q., Cai, H., Hu, Z., Liang, P., Prucnal, S., Zhou, S., Sun, J., Xu, N., & Wu, J. (2015). Blue shift in absorption edge and widening of band gap of O by Al doping and Al-N co-doping. *Journal of Alloys and Compounds*, 644, 528-53
- [17] Khan, A.W., Ahmad, S., Hassan, M.M., & Naqvi, A.H. (2014). Structural phase analysis, band gap tuning and fluorescence properties of Co doped TiO₂ nanoparticles. *Opt. Mater.* 38, 278-285.
- [18] Yücel Y., & Yücel E. (2018). Synthesis and characterization of lead sulfide thin films by coumarin assisted CBD method. *Optik*, 164, 263-270
- [19] Yücel Y., & Yücel E. (2018). Modification of Morphological, Structural and Optical Properties of CBD-Based Growth of PbS Films on Glass Substrates by Addition of Saccharin. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 22, 134-140

- [20] Vanalakar S.A., Suryawanshi M.P., Mali V., Moholkar A.V., Kim J.Y., Patil P.S., & Kim J.H. (2014) Simplistic surface active agents mediated morphological tweaking of CdS thin films for photoelectrochemical solar cell performance. *Curr. Appl. Phys.*, 14, 1669-1676.
- [21] Zhang L., & Xiang Y. (2018) Motion of grain boundaries incorporating dislocation structure. *J. Mech. Phys. Solids*, 117, 157-178.
- [22] Zhuang M.X., Wei A.X., Zhao Y., Liu J., Yan Z.Q., & Liu Z. (2015) Morphology-controlled growth of special nanostructure CuInS₂ thin films on an FTO substrate and their application in thin film solar cells *International Journal of Hydrogen Energy*, 40, 806-814.
- [23] Zhang L., Jiang J., Wang W., Huang X., Yuan Q., Hong R., & Cha L. (2018) Growth process and properties of CdS thin films prepared by chemical bath deposition at different pH values *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29, 7637-7643.

Araştırma Makalesi–Research Article

Bir Boyutlu Hücresel Dönüşümlerin Terslenebilirliği **Reversibility of One-Dimensional Cellular Automata**

Ferhat Şah^{1*}

Geliş / Received: 04/03/2022

Revize / Revised: 26/04/2022

Kabul / Accepted: 26/04/2022

ÖZ

Bu makalede bir boyutlu sonlu lineer hücresel dönüşümler üzerinde çalışıyoruz. Sıfır Sınır Şartı altında yerel kurallar yardımıyla temsili matrisi elde ettik. Elde edilen bu matrislerin sonlu cisimler üzerinde hangi şartlar altında tersinin olup olmadığını veren bir algoritma tanımladık. Bu aynı zamanda bize hücresel dönüşüm ailesinin terslenebilirliği hakkında fikir veriyor. Son olarak hücresel dönüşümlerin bu ailelerine bazı örnekler veriyoruz.

Anahtar Kelimeler- Hücresel Dönüşümler, Sıfır Sınır Şartı, Terslenebilirlik

ABSTRACT

In this paper, we study one dimensional finite linear cellular automata. We obtained the representative matrix with the help of local rules under the null boundary condition. We have defined an algorithm that gives whether these obtained matrices have an inverse on finite fields under what conditions. This also gives us an idea of the reversibility of the cellular automata family. Finally, we give some examples of these families of cellular automata.

Keywords- Cellular Automata, Null Boundary Condition, Reversibility

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: fsah@adiyaman.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-4847-9180>)
İktisat Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye

I. GİRİŞ

Literatürde cellular automata ya da automata theory olarak adlandırılan hücresel dönüşümler (Kısaca CA) ilk olarak Stanislaw Marcin Ulam ve Macar asıllı Amerika vatandaşı matematikçi John von Neumann'ın karşılıklı çalışma ve tartışmaları sonucu ortaya çıkmıştır. Neumann (1966) [7], DNA'nın kendini kopyalamasından hareketle iki boyutlu 29-durumlu ve kendi adını taşıyan dört hücreli (merkez hücre ile beraber beş hücreli) özel komşuluğu (Neumann komşuluğu) kullanan özel bir hücresel dönüşümü bilim dünyasıyla tanıştırdı. Araştırmacılar kompleks bir yapının hareketlerini modellemek için CA'nın araştırılmasına ilgi gösterdiler. Hedlund (1969) [5], CA'nın bazı özel kurallarının kaotikliğini araştırdı. 106 kuralının topolojik olarak karışık olan ve pozitif topolojik entropiye sahip kaotik bir alt sistem tanımladığını buldu. Wolfram (1983) [9], polinomlar aracılığıyla bir boyutlu CA'yı cebirsel olarak araştırdı. Hücresel dönüşümlerin istatistiksel mekanikte kendiliğinden düzenini araştırmak için basit matematiksel modelleri kullandı. Das ve ark.(1993) [3] tarafından, matris cebirleri kullanılarak bir boyutlu CA karakterize edildi ve lineer CA'nın incelenmesi için yeni bir metot geliştirildi. CA'nın yapısı diğer çalışmalardan ayrı olarak polinom cebirleri yardımıyla incelendi. Ayrıca, makalede daha çok hybrid (melez) CA lar üzerine odaklanıldı. CA'nın temsili matrislerinin terslenebilirliği hakkında algoritmalar verildi.

Hücresel dönüşüm çalışırken en önemli problemlerden biri hücresel dönüşümün terslenebilir olup olmadığıdır. Hücresel dönüşümlerin terslenebilirliği konusu çok önemlidir. Çünkü CA terslenebilirse onun ilk formuna dönüş yapılabilir. Bu durumdan da birçok bilim dalı fayda sağlayabilir.

Hücresel dönüşümlerin terslenebilirliği üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Çinkir ve ark., (2011) [2] bir boyutlu hücresel dönüşümlerin terslenebilirliğini, sonlu cisimler üzerinde ve periyodik sınır şartı altında incelediler. Yarı çap 2 olarak alındı. Global geçiş fonksiyonu yardımıyla elde edilen matrislerin terslerinin olup olmadığını belirlediler. Bu sayede eğer matris terslenebilirse hücresel dönüşümünde terslenebilir olduğu gösterildi. Del Rey ve ark. (2011) [4] tarafından yapılan çalışmada bir boyutlu hücresel dönüşümlerin terslenebilirliği Z_2 cismi üzerinde gösterildi. Pentadiagonal bir matris formunun bir karakteristik matrisi tarafından tanımlanan hücresel dönüşümün terslenebilirliği determinant yardımıyla elde edildi. Chang ve ark., (2020) [1] tarafından intermediate sınır şartı altında bir boyutlu hücresel dönüşümün tersinin varlığı çeşitli algoritmalar elde edilerek gösterildi. Karakteristik matrisin yapısını gözlemleyerek sonlu cisim üzerinde lineer hücresel dönüşümlerin terslenebilirliği incelendi. Şiap ve ark., (2013) [8] yılında yayınladıkları çalışmada yarı çapı $2r+1$ olarak bir boyutlu hücresel dönüşümün terslenebilirliğini incelediler. Bu çalışma periyodik sınır şartı altında yapıldı. Ayrıca devirli kodların üreteç matrisi ile hücresel dönüşümün kural matrisi arasında bir ilişki belirlendi. Böylece hücresel dönüşümlerin tersinirlik probleminin, cebirsel kodlama teorisi aracılığıyla belirlenebileceği gösterildi. Akın (2021) [13] de yaptığı çalışmada yarıçapı 4 olarak periyodik sınır şartı altında 9-devirli bir boyutlu hücresel dönüşümlerin terslenebilirliğini inceledi. Terslenebilirlik kriterlerini katsayılar ve kural matrisi yardımıyla belirledi.

Bu çalışmada bir boyutlu hücresel dönüşümün terslenebilirliğinin, sıfır sınır şartı altında ve özel bir yere 1 kural yardımıyla Z_p cismi üzerinde en genel halini vereceğiz. Hücresel dönüşümün terslenebilir olup olmadığını araştırmanın, onun karakteristik matrisinin terslenebilirliğinin araştırılması ile eşdeğer olduğu gösterilecektir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

$Z_m = \{0, 1, 2, \dots, m-1\}$ halkası verilsin. $x = (x_n)_{n=-\infty}^{n=\infty}$ iki taraflı sonsuz bir dizi olsun. Bu şekildeki dizilerin uzayı Z_m^Z ile verilsin. Yarıçapı r olan f lokal kuralı $f : Z_m^{2r+1} \rightarrow Z_m$ olmak üzere

$$f(x_{-r}, \dots, x_r) = \left(\sum_{i=-r}^{i=r} w_i x_i \right) \pmod{m} \quad (1)$$

Denklem (1) ile tanımlansın. Burada $w_i \in Z_m$ dir. Bu f lokal kuralı ile üretilen $F : Z_m^Z \rightarrow Z_m^Z$ ye toplamsal (additive) CA denir ve Denklem (2) 'deki gibi ifade edilir(Siap ve ark,2011) [11]:

$$Fx = (y_n)_{n=-\infty}^{n=\infty}, y_n = f(x_{n-r}, \dots, x_{n+r}) = \left(\sum_{i=-r}^{i=r} w_i x_{n+i} \right) \pmod{m} \quad (2)$$

\mathbf{Z}_2 cismi üzerinde tanımı verilen bir boyutlu CA yapısı, her hücrenin değeri 0 veya 1 olarak alınan hücre veya blokların örgüsü gibi düşünülebilir. Eğer $r = 1$ alınırsa, bu halde hücrenin bir sonraki geçiş durumu kendisine ve diğer iki komşusuna bağlı olarak elde edilebilir. Hücreler sadece lokal komşuluğa bağlı belli kurallara göre ayrı zaman adımlarında evrilebilir.

Matematiksel bakış açısıyla i . hücrenin bir sonraki geçiş durumu $(i-1)$., i . ve $(i+1)$. hücrelerin o anki durumunun bir fonksiyonu olarak temsil edilebilir. f yerel kuralı ile üretilen bir CA

$$\wp_i(t+1) = f(\wp_i(t), \wp_{i+1}(t), \wp_{i-1}(t)) \quad (3)$$

Denklem (3) ile ifade edilir (Khan ve ark,1997) [10].

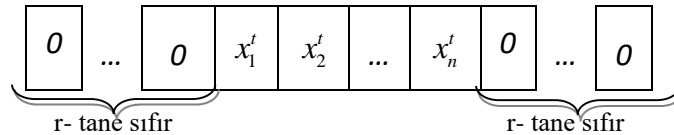
Tanım 1(Koroğlu,2012) [6] Bir hücresel dönüşümde her zaman adımı aynı türden geometrik şekillerin bir dizisinden oluşur. Bu dizilerin her birine o zaman adımındaki *konfigürasyon* denir.

Tanım 2 (Koroğlu,2012) [6] Bir hücresel dönüşümde t -zaman adımındaki bir konfigürasyonu $m \in \mathbb{N}$ olmak üzere $t + m$ -zaman adımındaki başka bir konfigürasyona dönüştüren fonksiyona *global geçiş fonksiyonu* denir ve $F = \langle f_1, f_2, \dots, f_n \rangle$ ile gösterilir. Burada $n \in \mathbb{Z}^+$ başlangıç dizisindeki hücrelerin sayısı ve $f_i, i = 1, 2, \dots, n$ ler de yerel geçiş fonksiyonlarıdır.

Tanım 3 (Khan ve ark,1997) [10] Eğer sonlu 1D CA konfigürasyonunun bütün hücrelerine aynı kural uygulanırsa o zaman CA'ya tekdüze veya düzenli CA denir.

Tanım 4 (Khan ve ark,1997) [10] Eğer sonlu bir 1D CA konfigürasyonunun farklı hücrelerine farklı kurallar uygulanırsa bu CA' ya hybrid (melez) CA denir.

Tanım 5 (Koroğlu,2012) [16] $r < n$ komşuluk yarıçapı olmak üzere $N^t = [x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t]$, t -zaman adımındaki konfigürasyon olsun. Eğer her t -zaman adımındaki dizinin sol baştaki teriminin soluna r tane sıfır ve sağ baştaki teriminin yanına da r tane sıfır eklenerek sırasıyla sol ve sağ baştaki hücrelerin sola doğru ve sağa doğru komşulukları belirleniyorsa bu sınır şartına sıfır sınır şartı (null boundary condition) denir ve Şekil (1)'deki gibi gösterilir.



Şekil 1. Sıfır Sınır Şartı

III. BULGULAR

$N^t = [x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t]$ t . zamandaki bir boyutlu hücresel dönüşümlerin bir konfigürasyonu olsun. N^0 başlangıç konfigürasyonu olsun. Bir boyutlu hücresel dönüşümler için çeşitli komşuluklar vardır. Bu çalışmada uygulama alanı en fazla olan en yakın komşuluk modeli kullanıldı. Bir boyutlu hücresel dönüşümlerin temsili matrislerini elde ederken bu çalışmada yarıçap 1 olarak alındı. $p \geq 2$ asal sayılar olmak üzere toplama ve çarpma işlemi altında iyi tanımlı aşağıdaki lokal kural Denklem (4)'deki gibi tanımlandı.

$$x_i^{t+1} = \begin{cases} w_2 x_1^t + w_3 x_2^t \pmod{p}, & i = 1 \\ w_1 x_{i-1}^t + w_2 x_i^t + w_3 x_{i+1}^t \pmod{p}, & 2 \leq i \leq n-1 \\ w_1 x_{n-1}^t + w_2 x_n^t \pmod{p}, & i = n \end{cases} \quad (4)$$

$w_1, w_2, w_3 \in \mathbb{Z}_p \setminus \{0\}$ ve x_i , i . hücrenin t zamandaki durumunu gösterir. Şimdi sıfır sınır şartı altında 1D CA' yı Denklem (5)'deki gibi tanımlayalım.

$$0[x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t]0 \rightarrow 0[x_1^{t+1}, x_2^{t+1}, \dots, x_n^{t+1}]0 \quad (5)$$

Burada $x_i^t \in \mathbf{Z}_p$ dir. Bu çalışmada hücrel dönüşümler sıfır sınır şartı altında tanımladığımız lokal kurallar yardımıyla karakterize edildi. Bir boyutlu hücrel dönüşümlerin terslenebilir olup olmadığını araştırmak için, karakteristik matrislerden yararlandı. Bir boyutlu hücrel dönüşümlere sıfır sınır şartı altında karşılı gelen T_n karakteristik matrisi yukarıdaki Denklem (4)'den faydalanılarak aşağıdaki gibi bulunur:

$$T_n = \begin{pmatrix} w_2 & w_3 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ w_1 & w_2 & w_3 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_1 & w_2 & w_3 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & w_1 & w_2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & w_2 & w_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & w_1 & w_2 & w_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & w_1 & w_2 \end{pmatrix}_{n \times n} \quad (6)$$

Burada Denklem (4)'den faydalanılarak N^t konfigürasyonu ve T_n karakteristik matrisi arasındaki ilişki aşağıdaki gibi Denklem (7) ile ifade edilebilir:

$$(N^{t+1})^T = T_n (N^t)^T \pmod{p} \quad (7)$$

Eğer T_n matrisinin tersi varsa;

$$(N^t)^T = T_n^{-1} (N^{t+1})^T \pmod{p} \quad (8)$$

Denklem (8) ile ifade edilir. Bu yüzden, bu çalışmanın temel amacı T_n matrisinin hangi durumlarda tersinin olup olmadığını incelemektir. Denklem (5)'deki gibi bir boyutlu sonlu hücrel dönüşümlerin ancak ve ancak onun karakteristik matrisi olan T_n 'nin tersi mevcutsa terslenebilir olduğu bilinmektedir. Eğer T_n 'nin rankı tam ise T_n karakteristik matrisi terslenebilirdir. Bununla birlikte T_n terslenebilirse, Denklem (5)'deki dönüşüm yani bir boyutlu sonlu hücrel dönüşüm de terslenebilirdir. Aksi durumda Denklem (5)'deki dönüşüm terslenemez bir dönüşümdür.

Karakteristik matris (kural matrisi) için bir örnek verelim. Kabul edelim ki $n = 5$ olsun. Bu takdirde 5. Meriteden T_5 karakteristik matrisi elde edilir. Aşağıdaki gibi sıfır sınır şartı altında 1×5 boyutunda bir konfigürasyonu ele alalım.

$$0[x_1^t \ x_2^t \ x_3^t \ x_4^t \ x_5^t]0$$

Yukarıdaki konfigürasyon bilgi matrisi olarak da bilinir ve aşağıdaki şekilde gösterilir:

$$[X]_{1 \times 5}^t = [x_1^t \ x_2^t \ x_3^t \ x_4^t \ x_5^t].$$

Yukarıda verilen vektörün bütün hücrelerine lokal kural uygulanırsa, $[X]_{1 \times 5}^{t+1}$ yeni bir bilgi matrisi elde edilir. Bu bilgi matrisinin girişleri aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}w_2x_1^t + w_3x_2^t &\rightarrow x_1^{t+1} \\w_1x_1^t + w_2x_2^t + w_3x_3^t &\rightarrow x_2^{t+1} \\w_1x_2^t + w_2x_3^t + w_3x_4^t &\rightarrow x_3^{t+1} \\w_1x_3^t + w_2x_4^t + w_3x_5^t &\rightarrow x_4^{t+1} \\w_1x_4^t + w_2x_5^t &\rightarrow x_5^{t+1}\end{aligned}$$

Böylece 5. Mertebeden T_5 karakteristik matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_5 = \begin{pmatrix} w_2 & w_3 & 0 & 0 & 0 \\ w_1 & w_2 & w_3 & 0 & 0 \\ 0 & w_1 & w_2 & w_3 & 0 \\ 0 & 0 & w_1 & w_2 & w_3 \\ 0 & 0 & 0 & w_1 & w_2 \end{pmatrix}_{5 \times 5}$$

A. Sıfır Sınır Şartı Altında Bir Boyutlu Hücresel Dönüşümlerin Terslenebilirliği

Hücresel dönüşümlerdeki temel problemlerden biri de terslenebilirliktir. Eğer hücresel dönüşüm terslenebilirse, hücresel dönüşümün başlangıçtaki yapısı belirlenebilir. Doğrusal olmayan durumlarda hücresel dönüşümlerin terslenebilirliği çok zor bir problem olarak karşımıza çıkar. Bununla birlikte sonlu lineer hücresel dönüşümler bir matris ile temsil edilebildiğinden dolayı, çeşitli sınır şartları altında tersleri incelenebilir. Böylece cebirsel özellikler kullanılarak sonlu cisimler üzerinde terslenebilirlik problemi çalışılabilir.

Bir boyutlu lineer hücresel dönüşümleri sıfır sınır şartı altında karakterize etmek için, \mathbf{Z}_p cismi üzerinde matris cebirlerini kullanarak, hücresel dönüşümün hangi şartlarda terslenebilir olup olmadığını belirleyen algoritmayı aşağıdaki Teorem 1 yardımı ile verelim.

Denklem (6)'daki matrisin rankını hesaplamak için matrise elementer satır ve sütun işlemleri uygulayarak Denklem (9)'daki gibi yeni matris elde edilir:

$$T_n = \begin{pmatrix} w_3^{-1}w_2 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ w_3^{-1}w_1 & w_3^{-1}w_2 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_3^{-1}w_1 & w_3^{-1}w_2 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & w_3^{-1}w_1 & w_3^{-1}w_2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & w_3^{-1}w_2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & w_3^{-1}w_1 & w_3^{-1}w_2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & w_1 & w_2 \end{pmatrix}_{n \times n} \quad (9)$$

Teorem 1: $n \geq 2$ için, Denklem (6)'daki gibi tanımlanan karakteristik(kural) matrisi ele alalım. l_{2n-3} aşağıdaki rekürans denklemini sağlarsa; $l_{-1} = w_2, l_0 = w_1$ ve

$$\begin{aligned}l_{2n-4} &= -w_3^{-1}w_1l_{2n-7}, \quad n \geq 3 \\ l_{2n-3} &= -w_3^{-1}w_2l_{2n-5} + l_{2n-4}, \quad n \geq 2\end{aligned}$$

T_n matrisinin rankı $(n-1) + \text{rank}(l_{2n-3})$ 'e eşittir.

İspat: $n \geq 2$ üzerinden tümevarımla ispatı yapalım. $n = 2$ için $T_2 = \begin{pmatrix} w_2 & w_3 \\ w_1 & w_2 \end{pmatrix}$ matrisine sahip oluruz. Matrise elementer satır işlemleri uygulayarak yeni bir matris elde ederiz.

$$T_2 = \begin{pmatrix} w_3^{-1}w_2 & 1 \\ -w_3^{-1}w_2^2 + w_1 & 0 \end{pmatrix}$$

T_2 matrisinin rankı, $l_1 = -w_3^{-1}w_2l_{-1} + l_0$ 'ın rankına bağlıdır.

$n = 3$ için $T_3 = \begin{pmatrix} w_2 & w_3 & 0 \\ w_1 & w_2 & w_3 \\ 0 & w_1 & w_2 \end{pmatrix}$ matrisine sahip oluruz. Matrise elementer satır işlemleri uygulayarak yeni

bir matris elde ederiz.

$$T_3 = \begin{pmatrix} w_3^{-1}w_2 & 1 & 0 \\ w_3^{-1}w_1 & w_3^{-1}w_2 & 1 \\ -w_3^{-1}w_2l_1 + l_2 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

T_3 matrisinin rankı, $l_3 = -w_3^{-1}w_2l_1 + l_2$ 'nin rankına bağlıdır. Yani , rank $T_3 = 2 + \text{rank } l_3$ 'e eşittir.

$n = 4$ için $T_4 = \begin{pmatrix} w_2 & w_3 & 0 & 0 \\ w_1 & w_2 & w_3 & 0 \\ 0 & w_1 & w_2 & w_3 \\ 0 & 0 & w_1 & w_2 \end{pmatrix}$ matrisi elde edilir. Benzer elementer satır işlemleri uygulanırsa

aşağıdaki matrisi elde ederiz.

$$T_4 = \begin{pmatrix} w_3^{-1}w_2 & 1 & 0 & 0 \\ w_3^{-1}w_1 & w_3^{-1}w_2 & 1 & 0 \\ 0 & w_3^{-1}w_1 & w_3^{-1}w_2 & 1 \\ -w_3^{-1}w_2l_3 + l_4 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

T_4 matrisinin rankı, $l_5 = -w_3^{-1}w_2l_3 + l_4$ 'nin rankına bağlıdır. Benzer şekilde devam edersek T_n 'in $(n-1)$. satırı $(0, 0, \dots, w_3^{-1}w_1, w_3^{-1}w_2, 1)$ dir. Tümevarımsal olarak $(n-2)$. satırı $-(l_1)$ ile çarpıp son satıra eklersek son satır $(0, 0, \dots, l_4, l_3, 0, 0)$ olur. Yeni elde ettiğimiz matrisin 2. satırını $-(l_{2n-7})$ çarpıp son satıra eklersek son satır $(l_{2n-4}, l_{2n-5}, \dots, 0, 0, 0, 0)$ olarak elde edilir. Son olarak yeni matrisin 1. satırını $-(l_{2n-5})$ çarpıp son satıra eklersek son satır $(l_{2n-3}, 0, \dots, 0, 0, 0, 0)$ olur. Son elde ettiğimiz matris ise aşağıda verilen Denklem (10)'daki gibidir:

$$T'_n = \begin{pmatrix} w_3^{-1}w_2 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ w_3^{-1}w_1 & w_3^{-1}w_2 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_3^{-1}w_1 & w_3^{-1}w_2 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & w_3^{-1}w_1 & w_3^{-1}w_2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & w_3^{-1}w_2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & w_3^{-1}w_1 & w_3^{-1}w_2 & 1 \\ l_{2n-3} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}_{n \times n} \quad (10)$$

$$\text{rank } T_n = \text{rank } T'_n = \text{rank}(l_{2n-3}) + (n-1) \quad (11)$$

Denklem (11) elde edilirken [12] numaralı kaynaktan yararlanılmıştır.

Örnek: $n=16, p=3$ alalım. Denklem (6)'daki matris de $w_1 = 1, w_2 = 2, w_3 = 2$ alınırsa aşağıdaki T_{16} matrisi elde edilir.

$$\begin{pmatrix} 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \end{pmatrix}_{16 \times 16}$$

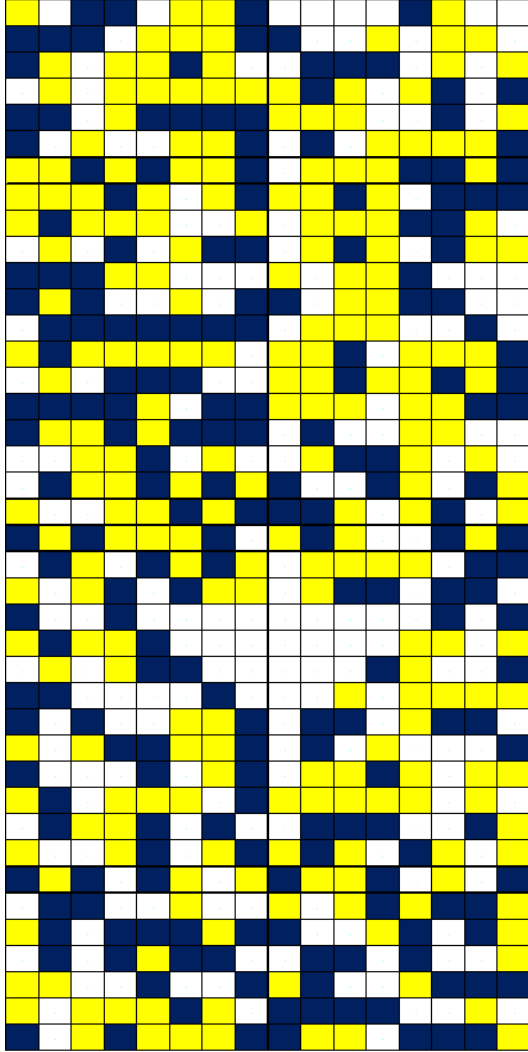
Teorem 1'deki rekürans denklemden kolayca matrisin rankı hesaplanabilir.

$$l_{2n-3} = -w_3^{-1} w_2 l_{2n-5} + l_{2n-4} ,$$

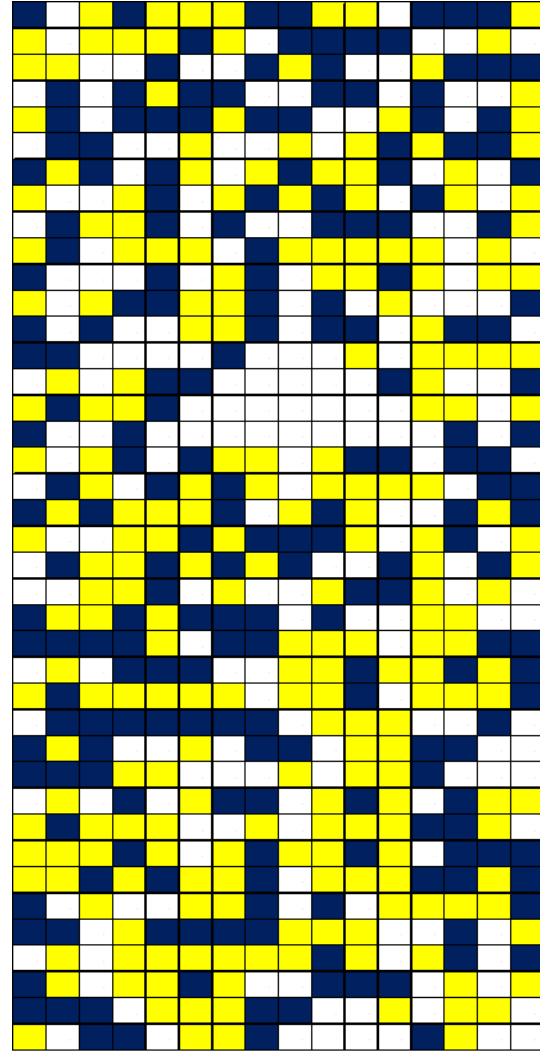
$$l_{29} = -w_3^{-1} w_2 l_{27} + l_{28} = -2^{-1} \cdot 2 \cdot 0 + 1 = 1$$

Bu takdirde T_{16} 'nın rankı Denklem (11)'den $(n-1) + \text{rank}(l_{2n-3}) = 15 + 1 = 16$ olarak elde edilir. Bu durumda matrisin rankı full olduğu için matrisin terslenebilir olduğunu bize verir. Böylece karakteristik matrisimize karşılık gelen hüresel dönüşümümüzde terslenebilirdir.

Şekil 2(a) ve Şekil 2(b) 'de rastgele bir başlangıç konfigürasyonu alarak, bir boyutlu hüresel dönüşümlerin durum-geçiş diyagramı ve onun tersi gösterilmiştir. T_{16} kural matrisi yardımıyla bütün konfigürasyonlar hesaplanmıştır. Böylece bir boyutlu hüresel dönüşümün geriye yönelik evrimi elde edilebilir. Başlangıç konfigürasyonu $N^0 = (1022011200002100)$ olarak alalım. $p = 3$ ve $w_1 = 1, w_2 = 2, w_3 = 2$ olsun. Burada mavi renkleri temsil için 2, sarı renkleri temsil için 1 ve beyaz renkleri temsil için 0 kullanılmıştır. Şekil 2(a)'daki görüntüye durum geçiş diyagramı, Şekil 2(b)'deki görüntüye ise durum geçiş diyagramının ters görüntüsü denir.



Şekil 2(a). Durum-Geçiş Diyagramı



Şekil 2(b). Durum-Geçiş Diyagramı'nın Tersi

IV. SONUÇLAR

Hüresel dönüşümler üzerinde çalışmalar son yıllarda artış göstermiştir. Çalışmada bir boyutlu hüresel dönüşümler ele alındı. Daha önceki çalışmalarda, farklı sınır şartları altında bir boyutlu hüresel dönüşümler incelenildi. Fakat bu çalışmalar genellikle Z_2 ve Z_3 cisimleri üzerinde yapılmıştır. Çalışma, Z_p cismi üzerinde en genel halde yapıldı. Bir boyutlu hüresel dönüşümlerin yapısı sıfır sınır şartı altında çalışıldı.

Hüresel dönüşümlerde terslenebilirlik kavramı çok önemlidir. Bununla ilgili Z_2 ve Z_3 cisimleri üzerinde birçok çalışma yapılmıştır ama bu çalışmada Z_p cismi üzerinde terslenebilirlik incelenildi. Terslenebilirliğin hangi şartlar altında mevcut olup olmayacağını gösteren çok önemli bir algoritma verildi. Bu algoritma sayesinde birçok konu hakkında fikir sahibi olunabilir. (Kanserli Hücreler, Trafik Işıkları vb.) İleriki çalışmalarda bu algoritma sayesinde yukarıda bahsettiğimiz alanlarla ilgili uygulamalar yapılabilir.

Çalışmanın son kısmında elde edilen algoritma ile ilgili uygulama yapıldı. Çok yüksek mertebeli matrislerin ranklarını kolayca hesaplandı. Bu durumdan faydalanarak hüresel dönüşümlerin terslenebilirlikleri hakkında kolayca fikir sahibi olundu. Son olarak keyfi bir başlangıç değeri olarak, tersi bulunan matrisin de yardımıyla lokal kuralları tanımlayıp bir boyutlu hüresel dönüşümün Durum-Geçiş Diyagramını ve onun tersini gösteren şekiller elde edildi. (Şekil 2(a) ve Şekil 2(b) lokal kurallar yardımıyla, kurallar tek tek elde edilip Mapple

programında kodlaması yapılarak elde edilmiştir.) İleriki zamanlarda hücresele dönüşümlerin şifrelemeye veya kodlamaya olan uygulamalarına bakılabilir. Bu uygulamaların günlük hayata olan katkısının üzerine farklı çalışmalar yapılabilir.

TEŞEKKÜR

Makalenin kalitesini ve okunabilirliğini önemli ölçüde arttıran, hakemlerin değerli ve yapıcı yorumları için teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- [1] Chang, C.C. & Yang Y. C., (2020). Characterization of reversible intermediate boundary cellular automata. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 1, 1-13
- [2] Cinkir, Z., Akın, H. & Siap, İ., (2011). Reversibility of 1D cellular automata with periodic boundary over finite fields Z_p . *Journal of Statistical Physics*, 143 (4), 807-823,
- [3] Das, A.K. & Chaudhuri, P. P. (1993). Vector space theoretic analysis of additive cellular automata and its applications for pseudo exhaustive test pattern generation. *IEEE Trans. on Computers* 42 (3), 340-35
- [4] Del Rey, A. M. & Rodriguez S., G. (2011). Reversibility of linear cellular automata, *Applied Mathematics and Computation*, 217 (21), 8360-8366
- [5] Hedlund, G.A. (1969). Endomorphisms and automorphisms of full shift dynamical system. *Mathematical System Theory*, 3, 320-375
- [6] Köroğlu, M.E. (2012). Hücresele Dönüşümlerle Hata Düzeltken Kodlar. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 107.
- [7] Neumann, V. (1966). The theory of self-reproducing automata, *Univ. of Illinois Press*, Urbana
- [8] Siap, İ, Akın, H. & Koroglu, M.E. (2013). The reversibility of $(2r + 1)$ -cyclic rule cellular automata. *TWMS J. App. & Eng. Math*, 2, 215-225
- [9] Wolfram, S., (1983). Statistical mechanics of cellular automata, *Rev. Mod. Phys.* 55 (3), 601-644
- [10] Khan, A.R. Choudhury, P.P. Dihidar, K. Mitra, S. & Sarkar, P. (1997). VLSI architecture of a cellular automata machine, *Computers and Mathematics with Applications*, 33, (5) 79-94.
- [11] Siap, İ, Akın, H. & F. Sah, (2011). Characterization of two dimensional cellular automata over ternary fields, *Journal Of The Franklin Institute*. 348 (2011), 1258-1275
- [12] Başar, F, (2002). Lineer Cebir. Uğurel Matbaası, Malatya, 468.
- [13] Akın, H. (2021). Description of Reversibility of 9-Cyclic 1D Finite Linear Cellular Automata with Periodic Boundary Conditions, *Journal of Cellular Automata*, 16, 127-151

Araştırma Makalesi - Research Article

Development of Virtual Robotic Laboratory and Materials for Education and Research

Eğitim ve Araştırma Amaçlı Sanal Robotik Laboratuvarı ve Materyallerinin Geliştirilmesi

Alim Kerem Erdoğan^{1*}, Uğur Yayan²

Geliş / Received: 18/03/2022

Revize / Revised: 11/05/2022

Kabul / Accepted: 11/05/2022

ABSTRACT

Robotic era is near, has never been before. In this new era, robotic education must have quality and accessibility for everyone. In this study, a disruptive technology for future of distance education based on virtual robotic laboratory (U-Plat) is presented. The created robotics education platform allows users to access a virtual robotics laboratory and training programs using internet interfaces. This environment allows them to control simulated robots, analyze and evaluate the results of experiments performed. U-Plat gives researchers, students and people working in the field of robotics the chance to learn Robot Operating System (ROS) and increase their knowledge with robotics training from beginner to advanced level. Also, U-Plat gives researchers opportunity to try their codes in online platform. Compared to traditional learning methods, U-Plat can be seen as an easier and more effective learning/teaching platform for ROS exercises, as it is an open source system. The user experience has been tried to be provided in all training tools with a very simplified and easily understandable interface. All designed training tools are provided through a web interface supported by advanced cloud systems and Docker container infrastructure. As a result, U-Plat is a novel robotic learning platform that can lead future laboratory research and distance robotic education.

Keywords- Lifelong Learning, Distance Education, Virtual Robotic Laboratory, Robotics, Distributed Learning Environments

ÖZ

Robotik çağı, daha önce hiç olmadığı yakın. Bu yeni çağda robotik eğitim, herkes için kaliteli ve erişilebilir olmalıdır. Bu çalışmada, sanal robotik laboratuvara (U-Plat) dayalı uzaktan eğitimin geleceği için yıkıcı bir teknoloji sunulmuştur. Oluşturulan robotik eğitim platformu, kullanıcıların internet arayüzleri kullanarak sanal bir robotik laboratuvara ve eğitim programlarına erişmelerini sağlar. Bu ortam, simüle edilmiş robotları kontrol etmelerine, gerçekleştirilen deney sonuçlarını analiz etmelerine ve değerlendirmelerine olanak tanır. U-Plat, araştırmacılara, öğrencilere ve robotik alanında çalışmalar yapan kişilere Robot İşletim Sistemini (ROS) öğrenme ve başlangıç seviyesinden ileri seviyeye robotik eğitimi ile bilgilerini artırma şansı verir. Ayrıca U-Plat, araştırmacılara kodlarını çevrimiçi platformda deneme fırsatı verir. U-Plat, geleneksel öğrenme yöntemleriyle kıyaslanacak olursa, açık kaynaklı bir sistem olması sebebiyle, ROS alıştırma çalışmalarının daha kolay ve etkili bir şekilde öğrenme/öğretme platformu olarak görülebilir. Eğitim için gerekli tüm araçlar, kullanıcı deneyimleri göz önünde

^{1*}Corresponding author contact: kerem.erdogmus@inovasyonmuhendislik.com (<https://orcid.org/0000-0001-5111-5965>)

Electrical Electronics Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Eskişehir Osmangazi University, Innovation Engineering, ESOGU Teknopark, Eskişehir, Turkey

²Contact: ugur.yayan@ogu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-1394-5209>)

Software Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey

bulundurulacak sadeleştirilmiş bir arayüz ile sunulmaktadır. Bu araçlar, bulut ve Docker konteyner sistemleri kullanılarak, web arayüzü üzerinden kullanıcıya sunulur. Bu sistem, dört farklı türde mobil robotun görev bazlı eğitimleri ile birlikte sunulmaktadır. Sonuç olarak, U-Plat gelecekteki laboratuvar araştırmalarına ve uzaktan robotik eğitime liderlik edebilecek yeni bir robotik öğrenme platformudur.

Anahtar Kelimeler- Hayatboyu Öğrenme, Uzaktan Eğitim, Sanal Robotik Laboratuvar, Robotik, Dağıtımli Öğrenim Ortamları

I. INTRODUCTION

Nowadays robotic systems are started to use in many areas. Unmanned aerial vehicles, autonomous guided vehicles or combines, smart cars, robots for rehabilitation, reconnaissance, research and education are just a few of the areas of use [1]. On the other hand, we are facing with another problem which is the training of qualified engineers for developing and operating robotic systems. The usage of the real robots also increases the efficiency of the learning. However, the students could not access to the real robots due to Covid-19 restrictions, high number of students taking lectures, the cost of robotic kits or the time constraints of workers [2-5]. In recent years remote and virtual laboratories are used to solve these problems dramatically increased [3,4]. Virtual and Remote laboratories carry the traditional laboratories to the next level and give a great impact on education and research areas for students and researchers. Especially, Virtual laboratories give opportunity for complementary analyses for new teaching methods. Systems created for accessing robotic systems through a digital environment have been created to facilitate the work of students and researchers working in this field. These systems allow researchers and students to evaluate their work and validate it online with a virtual simulation environment very close to real-world applications. Case in point, if researchers want to test planet robot, they require virtual planet environment that simulates space conditions. With enhancing virtual laboratories comfort in developing new technologies and testing new technologies are increasing.

In the last decade, many national and international "Remote/Virtual Laboratory" projects are implemented for many different engineering disciplines to teach the basic concepts. Although its general use, many different terms are used to describe these laboratories and there is no general term for these labs. In this case, difference between virtual and remote laboratories is explained by [6] as: Remote laboratories involve the operation of real/physical equipment but the experimenters are away from physical equipment. Whereas Virtual laboratories simulates laboratory environments and students/researchers can access these experiments via virtual laboratory environment.

It seems that many different universities or organizations are working to take the place of remote / virtual laboratories in the future of education. Studies show us to engineering is the most important discipline for remote / virtual laboratories. In engineering technical area, there are issues that contains several classes inside the concepts. One of these issues is the robotics which is a topic that mostly studied and the one of most popular issue in the area of engineering. In this regard, robotics studies subjected to a standstill because of universities resources' (personnel, laboratory material) insufficiency, excess number of students, cost of robotic training materials. Also, Impact of the pandemic on educational organizations creates a great barrier in physical laboratories [6]. Again, this especially added importance to virtual laboratories and online robotic education have gained momentum to overcome these barriers in education [7].

The proposed virtual robotics laboratory (U-Plat) provides an ideal working environment for students, researchers and lifelong learning users who want to increase their knowledge in robotics and software. This study is designed to be used for research purposes as well as education [8]. The created robotic software learning system allows users to access the robotic laboratory virtually over the web, control it through interfaces and various tools, analyze and evaluate the experimental results. Also, EvaMars robot exploration missions are explained and expected learning outcomes are given. Beyond EvaMars, EvaSec, ATEKS and AGV-OTA, U-Plat has mobile robot experiments like EvaRobot which is educational and research purposed robot, a differential drive Autonomous Guided Vehicle (AGV) and Swedish wheel AGV.

II. RELATED WORK

In the literature, there are different remote and virtual laboratory studies proposed. for each university robotic lab, for each robot, and for each focus of study, these works are remains only local and there is no general standard for these labs. At the same time, these systems are insufficient as an integrated solution for engineering

education. When these remote and virtual laboratories are analyzed for robotics education, it is seen that they are separated as mobile robot and robot arm lab studies. At the same time, there are laboratories that provide some basic courses for robot arm or mobile robot experiments. In this case, general view for the studies is given.

Prior project to the remote laboratory studies which could be presented as large-scale is ReLAX; (remote laboratory trial experimentation). Relax is under the framework of the IST program to be supported by the European Commission and is aimed to test the feasibility of working remotely in distance education [5]. In current status, most of the developed remote and virtual laboratory studies focus on mobile robots, have different robots, different experiment mechanisms, different access methods, different technologies and they have been developed in many different ways. MATLAB is being used extensively in academic and industrial studies, but the spread is very difficult because of the software cost. Also, in these studies' primitive robots or LEGO NXT mobile robots that have limited ability and capacity are usually preferred to use in order to reduce the cost of the laboratory [9]. On the other hand, some studies have different robots depending on the laboratory's environments [10]. Studies [11] and [12] propose remote laboratory which are built on MATLAB and LEGO NXT robots are proposed remote access laboratory to perform multi robot experiments by using MATLAB. Proposed laboratory is able to use research and educational purposes and it has predefined mobile robot experiments. Another team [13] offers architecture for implementation of the remote laboratory for the mobile robot (Surveyor SRV-1 mobile robot) applications. Architecture is built on MATLAB and open-source software library (EJS) and the purpose of this remote lab for students to do experiments on mobile robots as a group via the internet. In 2005, Web-based remote laboratory [14] has been developed to teleoperate a mobile robot (WiRobot) that can be controlled over the internet. Server software is developed by using MATLAB with visual feedback, direct control, sensor data monitoring and fuzzy control interfaces. Some remote laboratories for mobile robots have been developed using primitive robots in a small experimental area. For example, in study [15] established a mobile robot remote access laboratory which has specially developed a robot named Robotnačka with Bluetooth communication. These robots can be controlled using a visual programming language LOGO. The laboratory is on a white board covered with various guide signs on ceramic and lighting, 1.6 m above the camera, and there are robot charging stations and is surrounded by plastic walls. Besides the remote labs with mobile robots, there are many remote labs contain robot arm. In another study [16] a web-based interface for remote control of the 3D generated KUKA robot manipulator was proposed the mathematical model of manipulators for transferring 3D medium was carried out using VRML. RACT system [17] which allows only to remote control of the real robot arm (PUMA 560) is developed for educational purposes and some basic experiments like image-based robot control, servo motor control of robot arm. These operations can be conducted by using MATLAB interface and user can watch experiments via the cameras. There are also systems which allows only to control of the real robot arm (PUMA 560) [17], RACT is developed for educational purposes and some basic experiments like image-based robot control, servo motor control of robot arm could be conducted by using MATLAB interface and user can watch experiments via the cameras. Remote and virtual laboratories are usually developed by control engineers or electronic engineers. Therefore, inside of the most of the developed remote robotic laboratories, the experiments of the electronic [18] or control [19], disciplines is located. These studies [20-22] propose a remote laboratory which have been developed to teach the concept of automatic control to engineering students and describes the laboratory structure. In [20] there are two experiment facilities which are mobile robot's formation control system and ballplate system inside the remote laboratory. Also, in [21] visual programming language is designed and develop an interface for robot arm control; students can implement experiments using this language. There are MATLAB and VRML based remote laboratories [22,23] which have inverted pendulum, motor control, robot arm and mobile robot concepts for engineering education. They also provide the advantages of remote laboratories in control engineering graduate and postgraduate studies and training and indicates these systems as a complementary educational tool. In study [24], remote robotic laboratory is proposed. This laboratory is based on Free Architecture for Remote education (FARE). LEGO NXT robot is remotely controlled via created Python IDE.

In another study [25] web-based platform has been developed for use in the engineering training and scientific studies. This platform can be monitored via the web; it may be controlled and re-programmed. MATLAB interface has been customized to make the image processing studies with artificial neural networks but this interface allows set the parameters via a web browser, not allowing any coding. another web-based virtual laboratory application [26] has been developed for robotic activities. The experiments can be conducted with mobile robots; motor control, obstacle avoidance, image processing and orbit control is defined. These labs allow users, microcontroller programming, use of sensors, path planning, trajectory tracking can implement such experiments with real robots and equipment over the Internet. This platform has been developed in JAVA and Visual Basic, and a webcam, 3 IR sensor sonar and encoder which is used on a primitive mobile robot. But there

is a limited capacity for this laboratory; only 1 user could connect to the system at one time. Virtual labs with robot arm are more prominent than remote accessible robot arm laboratories. Study [27], proposes a virtual robotics laboratory for robot arm education was developed for the university's mechanical engineering department. Robot control could be done by using MATLAB interface with entering parameters. Robot kinematics and dynamics are taught in training courses. A paper presented by [28] proposes Virtual laboratory for training industrial robots. Given simulation program is created by using Unity 3D game engine and demonstration of methodology is given by virtualization of Delta-type robot. Next study proposed in [29] shows a MATLAB-based virtual robotics laboratory which provides three-dimensional animation for robot arm. All components of this virtual laboratory like GUI, simulations and 3d animations are made by only using MATLAB without any other software. Simscape is employed for modelling robot's physical systems and utilizing linear analysis tool for obtaining linear system model. Aim of this study was to allow students to obtain stable conditions and linear models of robotic system without getting confused its mathematical modelling. [30] Presented virtual laboratory for studies who are making line follower robots. It is aimed to propose unsettled and changeable tracks with virtual laboratory named V-Lab. Study is not fully finished and based on analysis from trails shows that V-Lap is feasible for robot simulations. In next study, virtual laboratory system based on Unity3D engine virtual reality technology. In this virtual laboratory students are able to observe the structure of the robotic arm and its working process during virtual operation [31]. Next mobile virtual laboratory study named m-PaRoLa is proposed on studying some kinematics for five-bar and 3RRR robots. Study aims to improve this lab with adding new robots [32]. However, limitations on mobile systems minimize applicability of this method. In 2017, A virtual laboratory is proposed for processor-in-the-loop concept. In this study, inverted pendulum experiment is given as a case study to verify processor-in-the-loop system [33].

Some laboratories have virtual and remote laboratories [34]. This remote accessible virtual lab has been developed by using EJS technology for robot arm (Scorbot ER-IX) education. The robot control could be done by using certain commands and entering parameters. Next study [35] proposes virtual robot laboratory system with Virtual Reality (VR) application for engineering students. System is still in development and finished application aims to provide not only an immersive experience for students to improve the quality of teaching, but also to enable students to interact with industrial robots in virtual laboratory environment. Given method is planned to be used by University of Alicante robotic engineering. Next study by [36] proposes client/server mode robot remote control system with simulation interface. Case study proposes one 6-DOF robot arm and a 4-DOF SCARA robot. Results show that Robot kinematic simulations are effective and helpful for student education [36].

III. VIRTUAL ROBOTIC LABORATORY (U-PLAT)

U-Plat is a new multi-layered ROS and robotics training platform that includes various robotics software training. These trainings include exercises adjusted to increase in level from easy to difficult. The greatest convenience of the trainings designed for students is the opportunity to get started without dealing with complex ROS and Linux installations. The user experience has been tried to be provided in all training tools with a very simplified and easily understandable interface. All designed training tools are provided through a web interface supported by advanced cloud systems and Docker container infrastructure. Sample video for U-Plat Virtual Robotic Laboratory is given in the Youtube [37].

When a user starts a tutorial on U-Plat, a user-specific Ubuntu virtual machine is created using Amazon Web Service (AWS). Figure 1 shows the architectural summary of the U-Plat.

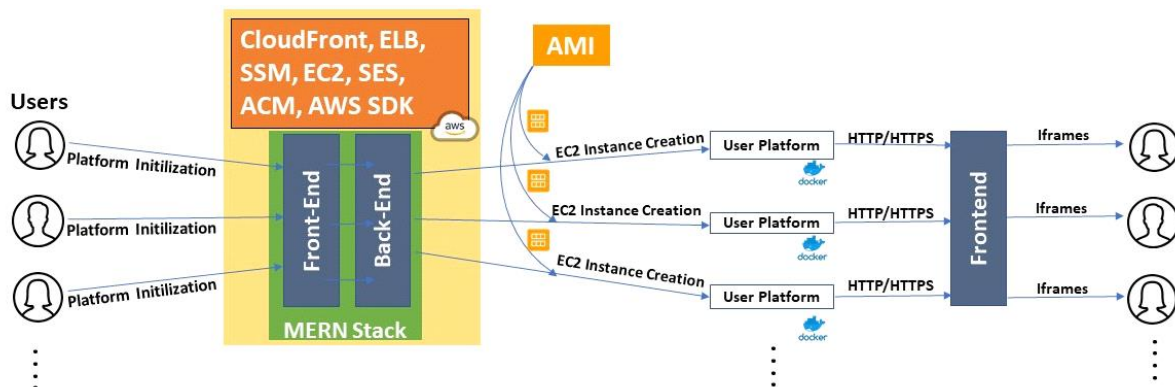


Figure 1. U-Plat architecture

U-Plat uses state-of-the-art systems such as Amazon Route53, Amazon CloudFront, Amazon Certificate Manager (ACM), Simple Storage Service (S3), Amazon Cloud Compute (EC2), Elastic Load Balancer (ELB), Simple. A summary of technologies used such as Email Service (SES), MongoDB, Amazon Machine Image (AMI), Systems Manager (SSM), AWS-SDK can be seen in Figure 2.

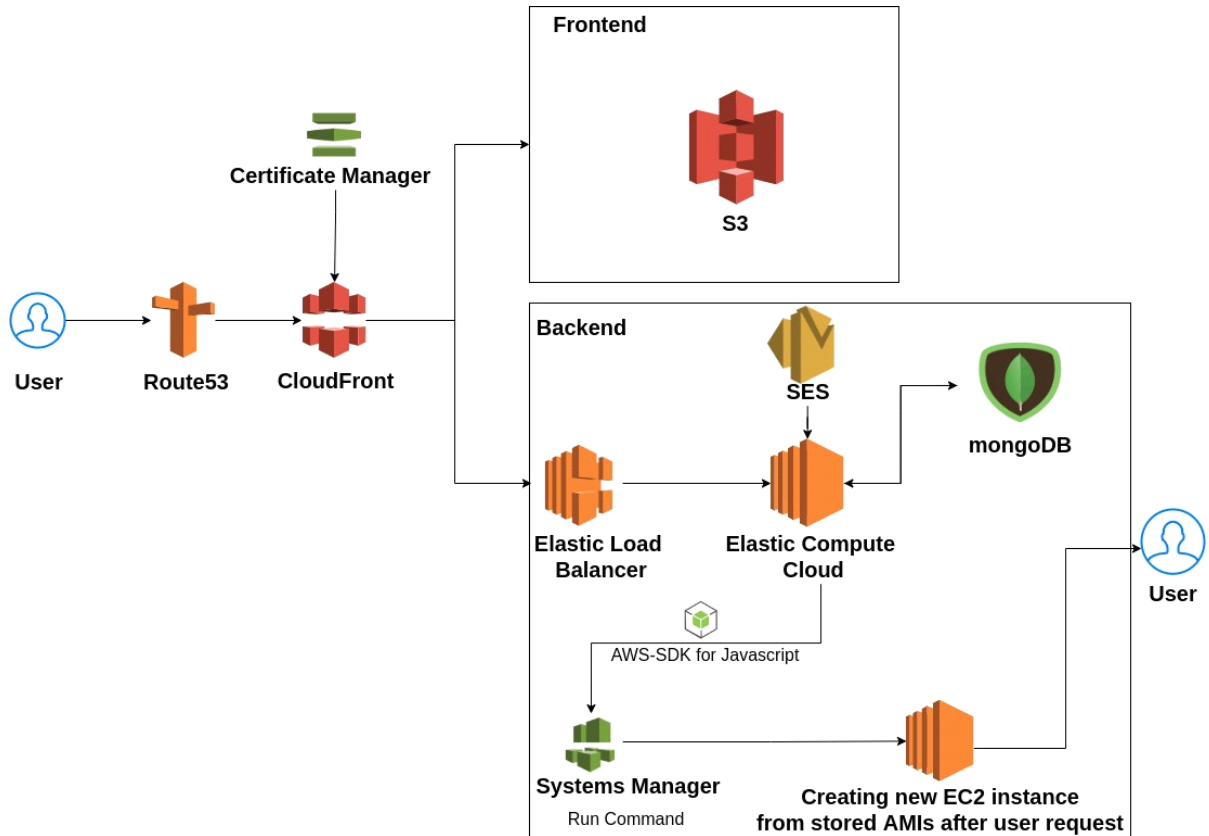


Figure 2. U-Plat technology chain

Gazebo Web (gzweb), Theia [38] and Jupyter Notebook tools are the core components available to the user on the U-Plat platform via Docker containers. By running these containers, the user can easily have them through the web interface without the need to install ROS, Gazebo and the necessary Unix/Linux operating system, which can be very troublesome to install on normal computers. With the existing Gazebo Web client, the robot is simulated based on user-written codes or studies. Compared to using from the local computer, the user can run their work much faster thanks to the client technology provided. Theia, another component used in the system, provides an integrated software development environment. The application makes it possible to write code in many languages. In addition, all code pieces required for the virtual environment used with the terminal provided by Theia can be run. On the other hand, Jupyter Notebook is integrated to provide tutorial document to provide useful information for user to learn and experiment. In this way, the user will be able to test their own codes, perform the tutorials in the document and observe the results. The U-Plat environment created with the mentioned components can be seen in Figure 3.

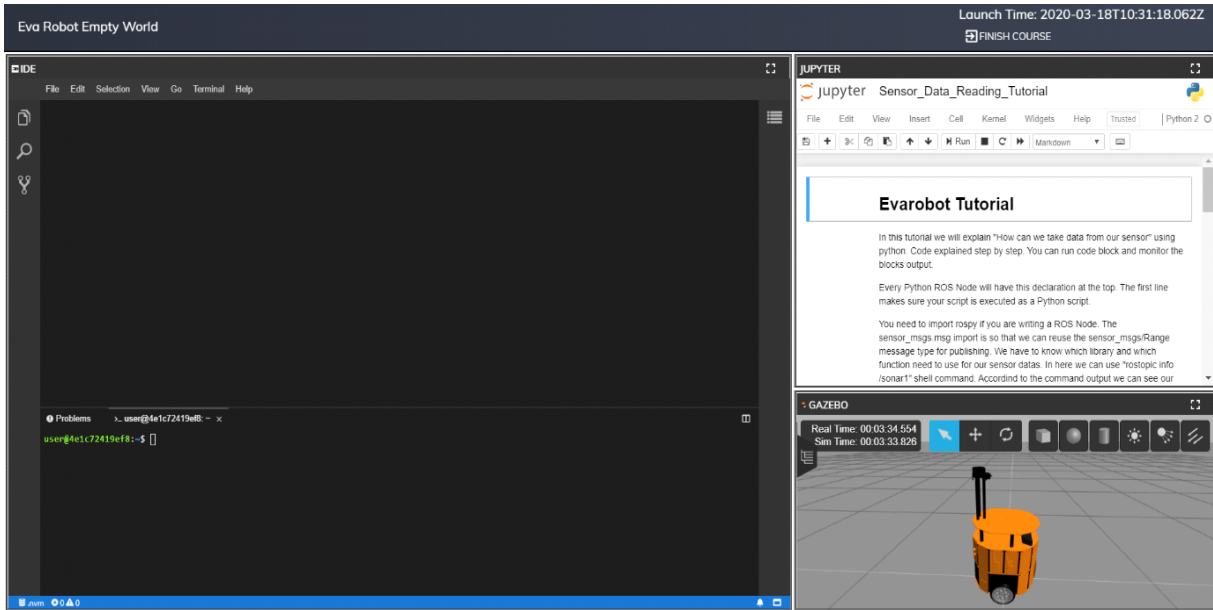


Figure 3. U-Plat environment

A.U-Plat Interfaces

While starting a new training, Pressing Start button in academy page creates new instance on AWS through backend software. These processes can take a few minutes. Then AWS EC2 instance is created and this process is depending on user connection speed. After all applications have started, the interface in figure 7 welcomes the user. The areas marked with 1 and 2 in this interface are the parts of Theia IDE. User can use it to write code in the location indicated by 1. There is a terminal in the area indicated by 2. All commands can be given to the instance through this terminal. The area marked by 3 is Jupyter Notebook. User can access the training document with Jupyter Notebook. The area indicated by 4 is the Gazebo Web application. User can view all the simulations through Gazebo Web. In the upper right, it can be viewed when training is started.

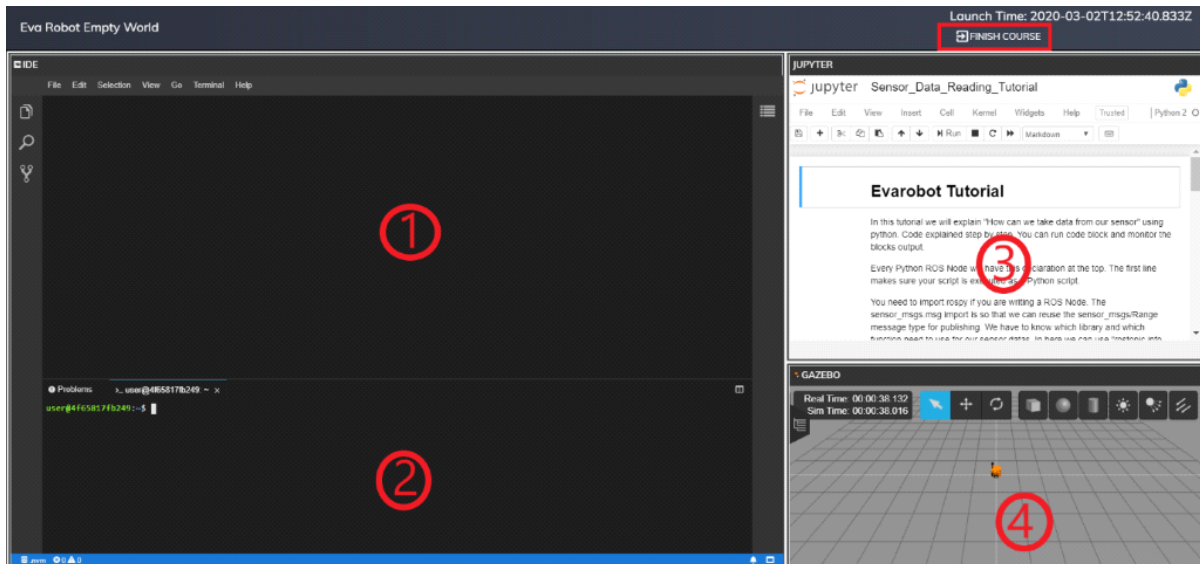


Figure 4. View of the course after running

B.U-Plat Tools

Start a Terminal: User can open many terminals or split them. With a terminal, user can run any command except root commands. U-Plat tutorials are designed so that no root command is required.

File System: The file system appears in the explorer section on the left side of Theia IDE. Many file operations can be performed in the opened section. For example, if filename.py is written on the screen that opens when the New File button is clicked, a python file is created. Theia IDE supports many programming languages. These transactions can be done with CLI commands with the terminal. User can download the selected folder or file with the Download button and with the Upload button; user can upload a folder or file to the selected folder.

Gazebo - Main User Interface: Some parts of gzweb are marked in Figure 11. The button marked 1 opens the Gazebo panel. Real and simulation times are shown in the area marked by 2. There may be a few seconds difference between real time and simulation time at first start. This is due to the difference in the start time between gzserver and gzclient. There are different types of cursors in the field marked 3. User can choose the cursor to move and rotate in this section. There are different objects in the area marked with 4. User can add objects into the Gazebo simulation world.

In Gazebo, user can restart the world, this way simulation models return their original states and simulation times are reset. Also, reset view button defaults the viewing angle.

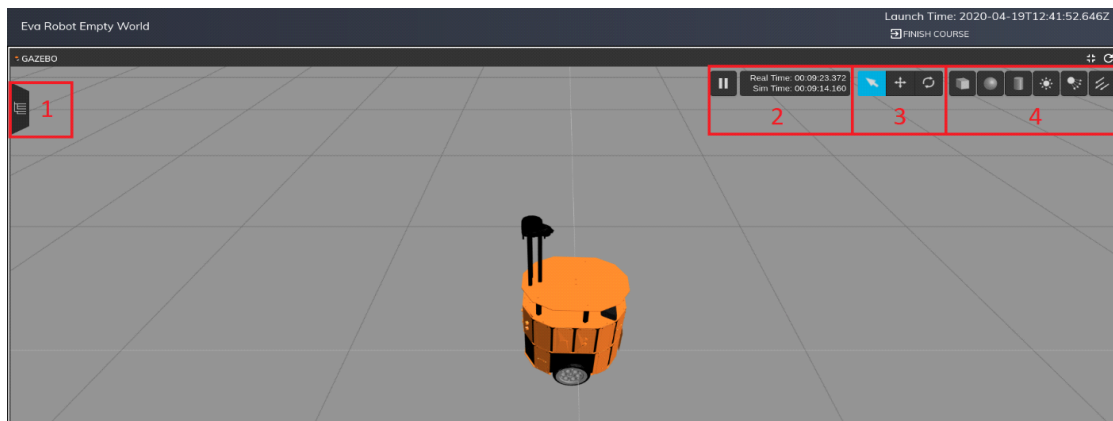


Figure 5. Gazebo main user interface

Jupyter: The Jupyter shown in Figure 6 is used to show training documents. The user will learn through the educational content available here and will test himself with questions. In this way, the user will both learn and reinforce what they have learned.

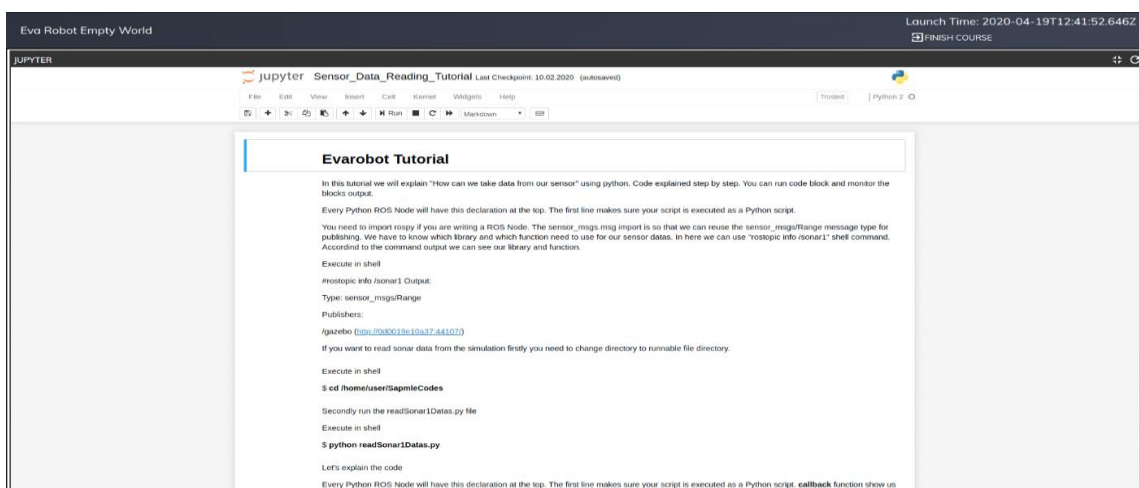


Figure 6. Jupyter interface view

IV. EVAMARS MISSION TUTORIAL

These tutorials are an educational guide designed for the "EvaMars Mission Robot" in which the necessary studies for a possible Mars mission training are set up. A robotic simulation has been created with a

Gazebo environment constructed from a real Mars map. With the training to be carried out in this simulation environment, users are expected to complete this training by performing Mars exploration missions through various ways of participation. A training plan consisting of seven missions designed for seven Mars days has been made. In line with this plan, a robotics training has emerged that can be completed by users with intermediate ROS knowledge and Python knowledge. Sample demonstration video on EvaMars missions is given in the Youtube [37].

A. EvaMars Robot

The EvaMars robot is a Mars reconnaissance robot model developed for the Uplat environment. It is modeled to be able to perform exploration missions in the Martian environment, conduct drilling works, and move in the harsh terrain of the environment. A possible Mars exploration scenario was created by means of Eva-Mars and robotics training packages were revealed with this scenario.

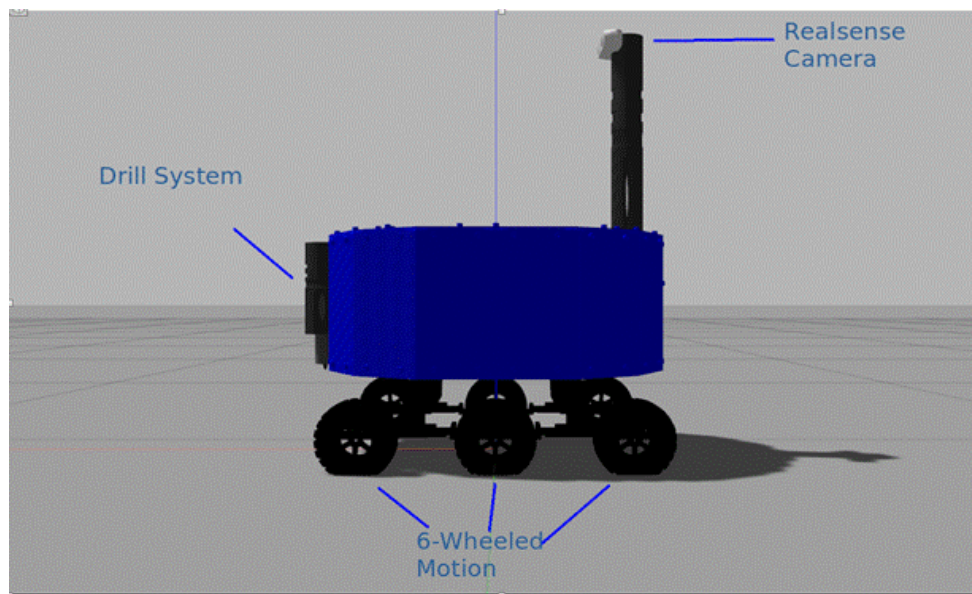


Figure 7. EvaMars robot's components

Drilling System: Eva-Mars Robot has a drilling system with 3 nested cylinders. The system, which has a piercing tip that can go down to a depth of 15 cm from the surface, is designed to simulate drilling activity scenarios on the Martian surface.

6-Wheel Movement: Eva-Mars Robot has 6-wheel drive wheels that can move easily on rough terrain on Mars surface.

Realsense Camera: The Intel Realsense D435 Camera, the eye of the Eva-Mars Robot on Mars, has been integrated for simulations of Mars exploration missions thanks to both RGB image and depth perception. The robot gains a 360-degree perspective, thanks to the rotating port on which the camera is attached.

B. Mars Missions

The Mars missions defined for the EvaMars robot developed for the missions begins with EvaMars' first descent to the Martian surface and its first environmental survey mission. Then, it ends with the completion of the robot's drilling work and final research tasks in the predetermined areas. This process is defined by seven different tasks. The tasks given to the users are that the robot makes various contributions to complete these tasks and enables the robot to complete these tasks. Contributions to be made are editing the Python codes to be applied to the robot in some robotic tasks, designing the initialization files for the robot and making various observations by providing manual control of the robot. The details of these tasks are as shown in the diagram below.

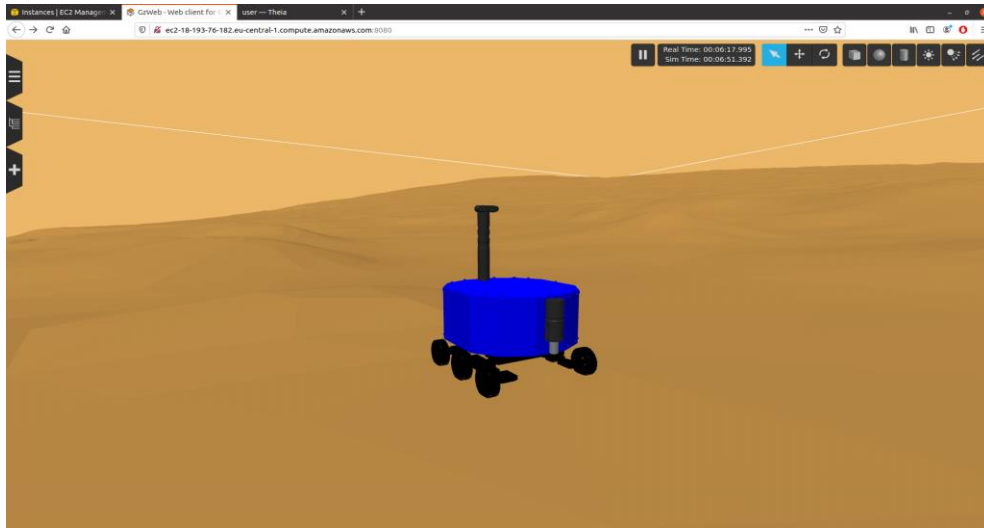


Figure 8. EvaMars robot



Figure 9. EvaMars missions

1) Mission I: Landing and First Explore Mission:

Mission Purposes: EvaMars Mission Robot will be landed in a crater area that is in the most ideal position for the missions it will perform on the Mars floating. This landing must take place smoothly and the robot should discover its limited environment and inform the center that it has completed this discovery. With this small mission, it is aimed to test that the landing of the robot is smooth and the basic motion functions of the robot are working.

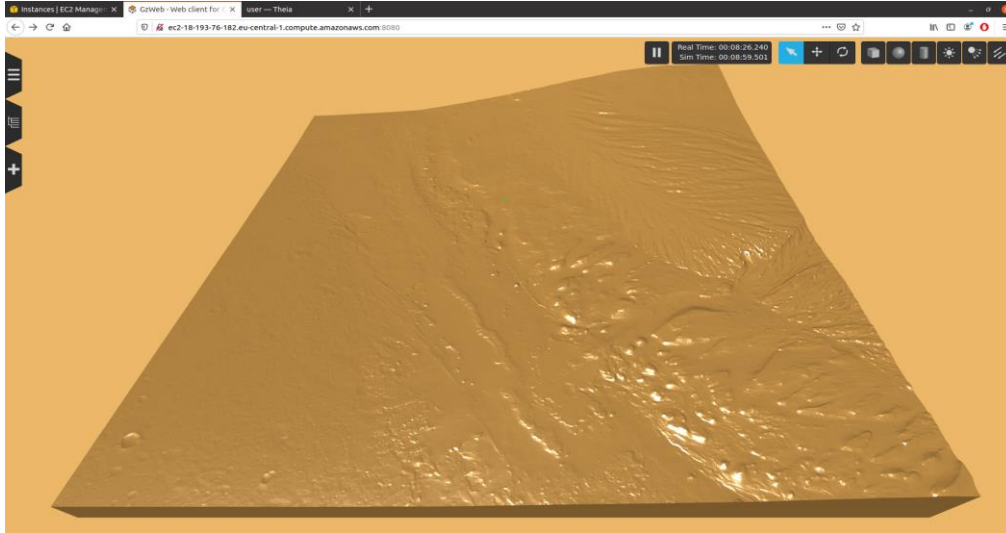


Figure 10. Mars Gazebo environment

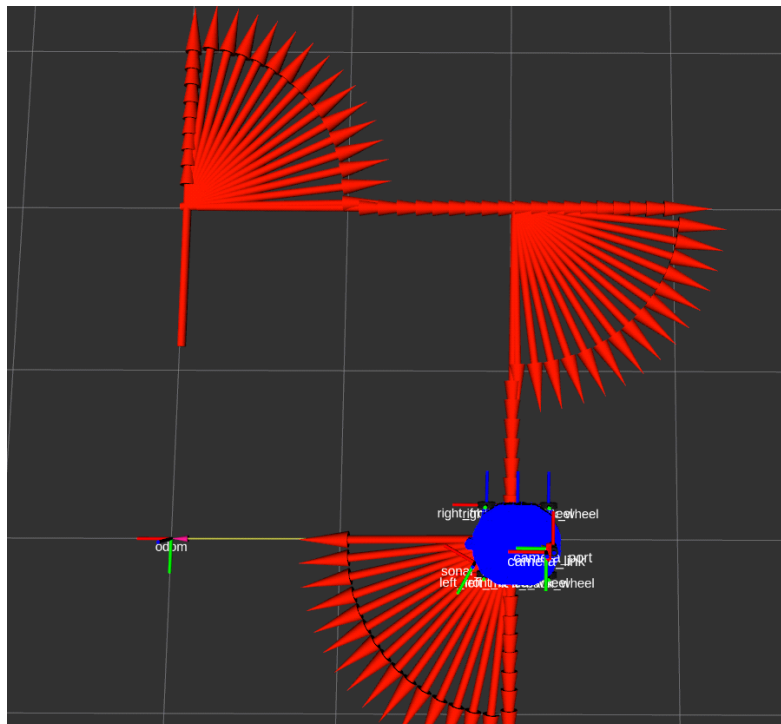


Figure 11. Graphical output of first mission

2) Mission II: Expanded Field Exploring and Maneuverability Test:

Mission Purposes: It aims to concentrate on the design and use of the necessary tools for the robot, which started its Mars mission, to get to know its environment better and to perform its movement functions both autonomously and manually in difficult terrain. With this mission, it is expected to learn the use of the "teleop_twist_keyboard" package, which is a manual motion controller that the robot will use during the Mars mission, and to create a code file that will enable it to perform an extended scan to test its autonomous maneuverability.

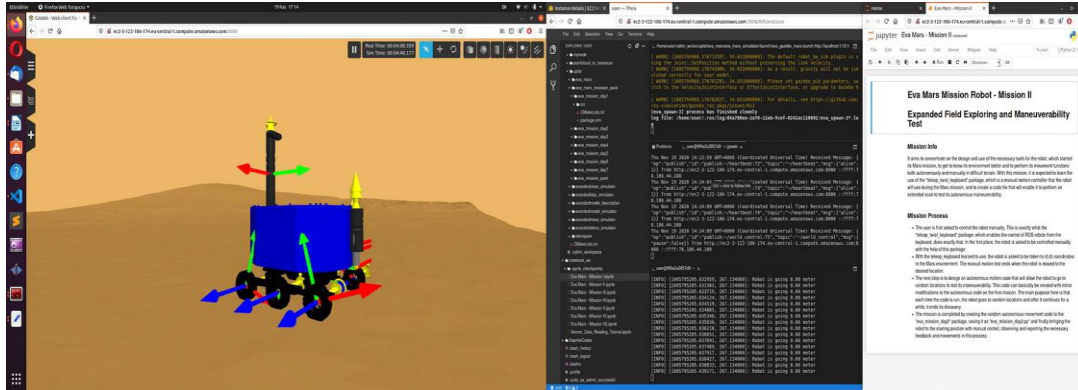


Figure 12. EvaMars U-Plat screen

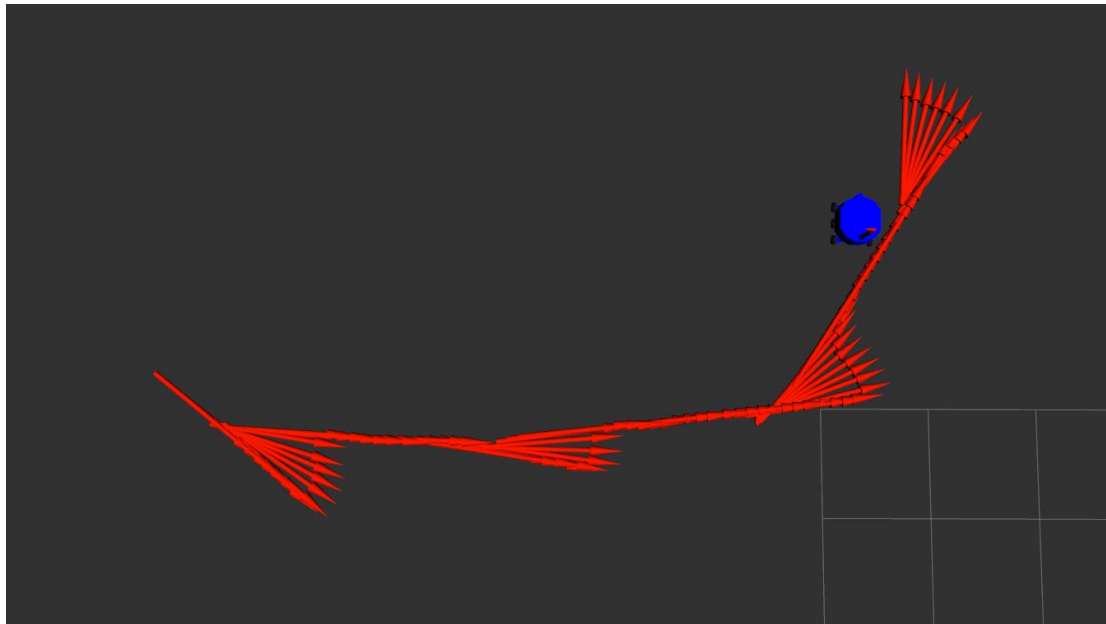


Figure 13. A graph showing the random paths the robot makes

3) Mission III: "We Need Sensors":

Mission Purposes: In the third of Mars missions, it is now expected that the discoveries made with the robot will be deepened and the user will benefit from the sensors on the robot. The robot's mobility tests are now complete and the robot's environment must be well known by the user and continue the mission. The Eva Mars robot is equipped with an Intel Realsense D435 camera. In this mission, the operability of the camera on the robot is expected to be tested.

4) Mission IV: Exploration to the Rocky Lake

Mission Purposes: The fourth of the Mars missions focused on the exploration of the rocky region called Rocky Lake, located near the robot's landing point (Figure 14). The robot is asked to pass through that area

autonomously. During this transition, five images are requested to be recorded from the camera. The user is expected to observe that this image can be easily taken thanks to the autonomous progress of the robot. The mission is completed at the end of the autonomous movement starting from a point in the rocky area, recording the desired images and reporting the general mission.

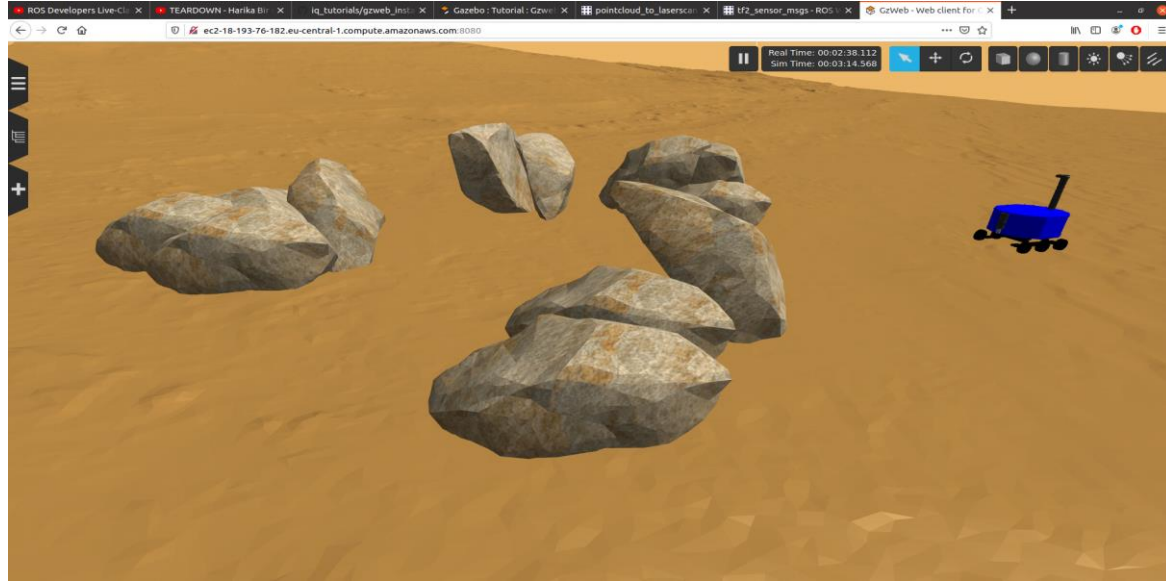


Figure 14. The Rocky Lake scenario environment

5) Mission V: "Ready for Missions":

Mission Purposes: In the fifth of Mars missions, it is aimed to activate the drilling system, which is the last tool that is not used on the robot anymore and to develop the exploration capability by the user by bringing the existing camera system to a rotary system. The user will now be able to benefit from all functions of the robot with high efficiency and will be ready to go on drilling-exploration missions with the robot. For this, it is required to create a Python code file that will make the drilling system usable and provide the ability to turn right/left to the port where the camera is attached.

6) Mission VI: Silk Road Exploration:

Mission Purposes: In this mission, which is the sixth of the Mars missions, it is about drawing a long travel route and the follow-up of this route in such a way that the robot has been prepared with all its mechanisms. The robot is expected to write a code that will enable it to be transferred to 5 different coordinates that will be received from the user (Figure 15). One image should be recorded from each point that is transferred, from the moments when the camera looks to the right, left and opposite. The mission ends with the collection of the records made by the robot at each point in the required package and the successful completion of the route.

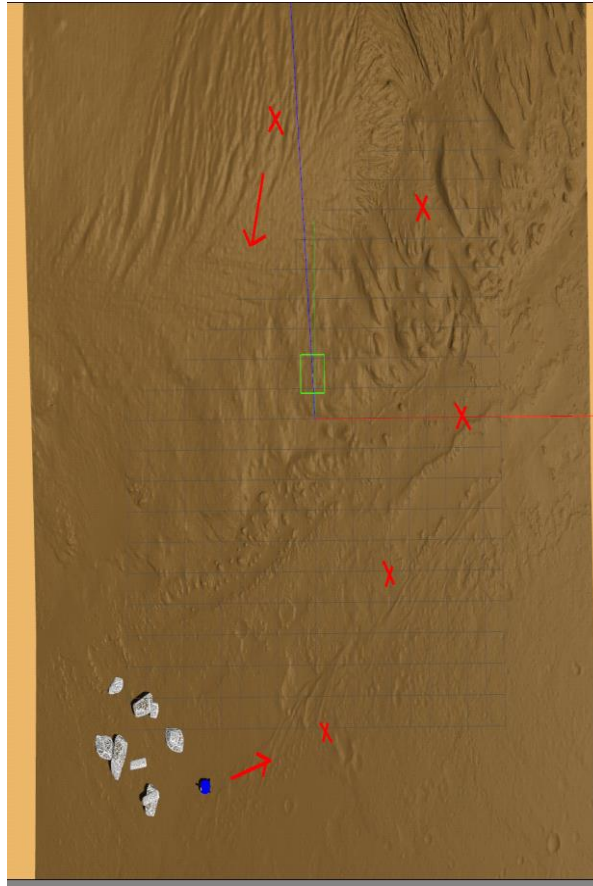


Figure 15. Travel points and route

7) Mission VII: Time to Drilling

Mission Purposes: In this mission, which is the last of the Mars missions, it is aimed to use the drilling system activated in Mission 5. With the long exploration route and investigations made in mission 6, a scenario in which certain drilling points have been discovered has been designed. The robot needs to go to two of the previously discovered spots, drill and return to the point where it was landed on Mars. The user is expected to create a code file to complete this mission.

V. EVASEC MISSION TUTORIAL

This tutorial is an educational guide in which the necessary studies for a possible facility safety inspection training designed for the "EvaSec Safety Robot" are set up and explained (Figure 16). With this simulation training set up in a sample facility map in the Gazebo environment, users are expected to complete this training by performing basic ROS functions, message and service package creation, robot status checks and robotic coding missions in various ways of participation. With this study, a robotic education that can be completed by users with basic Python and ROS knowledge has been revealed.

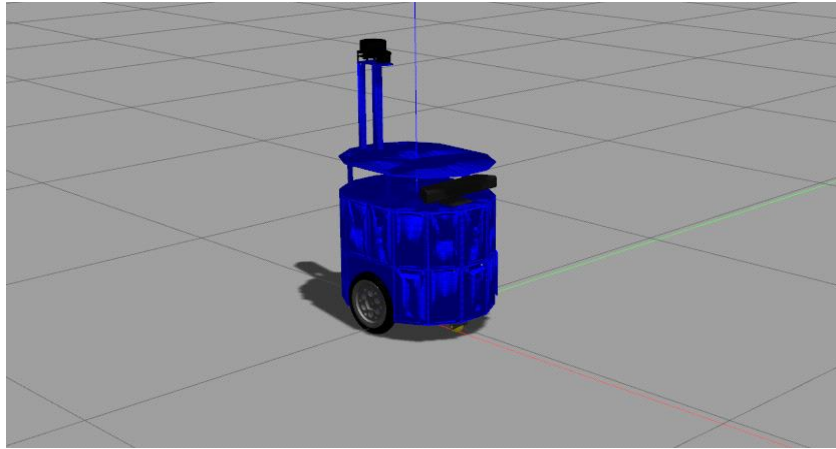


Figure 16. EvaSec security robot

A Patrol Missions

Exercises given to users include tasks that require the robot to make adjustments to enable it to complete robotics tasks that require basic knowledge of ROS. The basis of these tasks is focused on writing the necessary Python codes for the robot to complete the task, creating the launch files or creating the necessary srv/msg files. The details of these tasks are as shown in Figure 17.

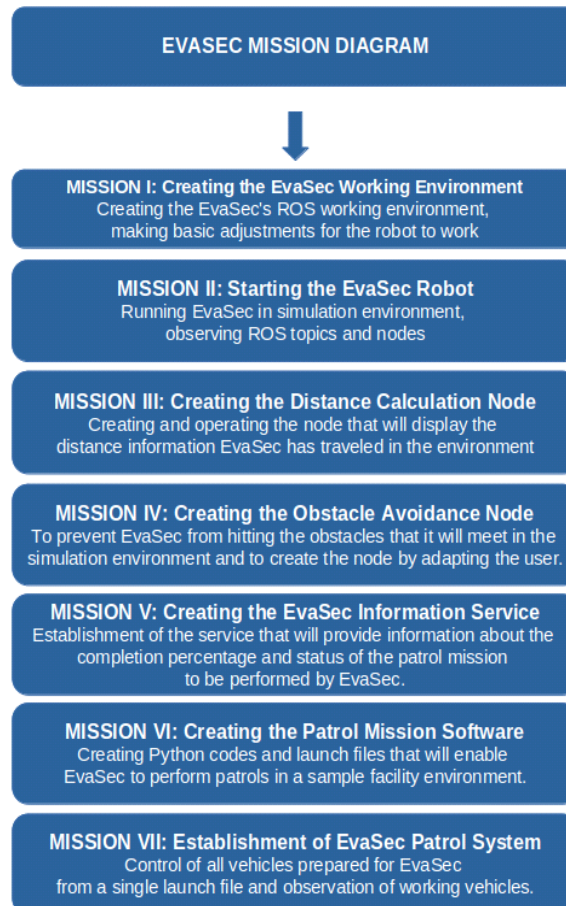


Figure 17. EvaSec missions

Mission I: Creating the EvaSec Working Environment:

Mission Purposes: Before the use of the EvaSec robot, the ROS working environment should be prepared, if there is no working environment, a new environment should be created.

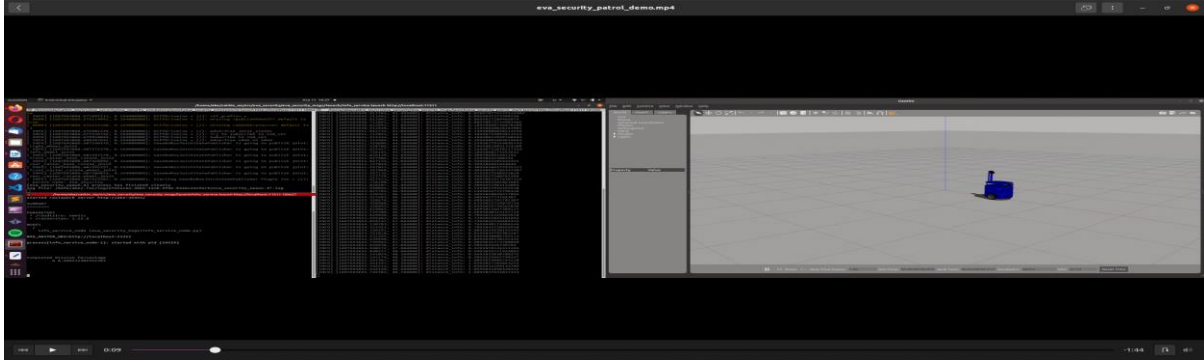


Figure 18. EvaSec patrol mission

Mission II: Starting to EvaSec Security Robot

Mission Purposes: In the ROS environment prepared for the EvaSec robot, it is necessary to download and run the robot's packages and to examine the activity status of the robot's topics and sensors.

Mission III: Creating the Distance Calculation Node

Mission Purposes: The node that will enable the EvaSec robot to broadcast the expression in meters of the distance traveled during the patrol mission from the user terminal should be designed (Figure 19).

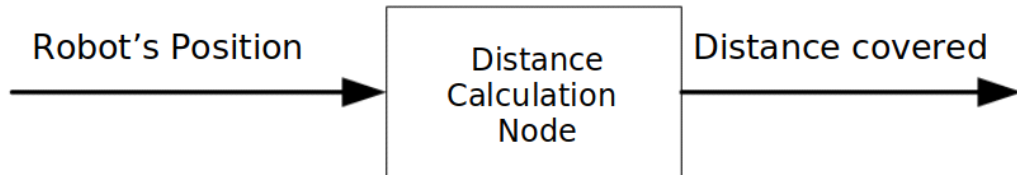


Figure 19. EvaSec distance calculation node diagram

Mission IV: Creating the Obstacle Avoidance Node:

Mission Purposes: By subscribing to the sonar sensor value of EvaSec, it is necessary to create a node that reads the distance value of the sensor to an obstacle around and makes a request to move or stop the node that performs the movement according to the specified limit value (Figure 20).

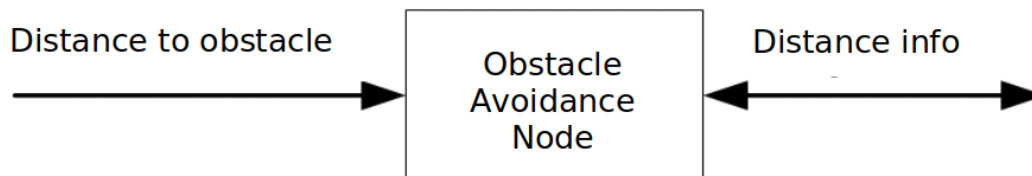


Figure 20. EvaSec obstacle avoidance node diagram

Mission V: Creating the EvaSec Information Service

Mission Purposes: A node that makes a request to the service will be created to get information about how much of the mission EvaSec has completed. The information service node can be seen in the Figure 21.

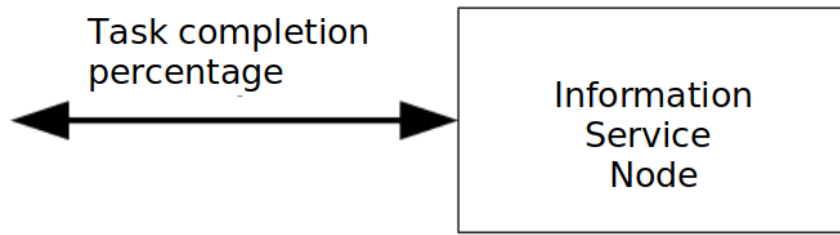


Figure 21. EvaSec information service node diagram

Mission VI: Creating the EvaSec Information Service:

Mission Purposes: The node that performs the patrol function of EvaSec should be created and run. Figure 22 shows the patrol node block diagram of the robot.

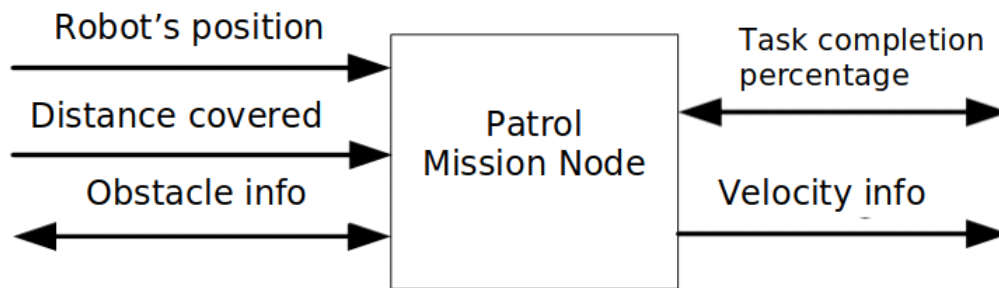


Figure 22. EvaSec patrol mission node diagram

Mission VII: Establishing the EvaSec Patrol System

Mission Purposes: It is necessary to run all of the arrangements such as file, package, and service/message attachments made for EvaSec by combining them and to create the necessary launch file to complete a simple patrol mission designed for EvaSec.

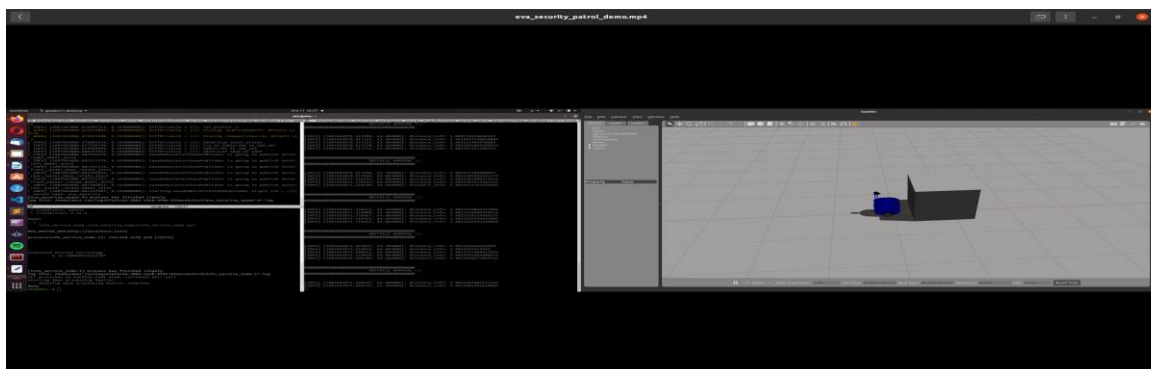


Figure 23. EvaSec object detection

VI. ATEKS MISSION TUTORIAL

This tutorial is an educational guide in which the necessary studies for a possible hospital duty training scenario designed for “ATEKS Smart Wheelchair” are designed and explained. With this simulation training designed to work in a hospital model in a Gazebo environment, users are expected to complete this training by performing the ROS and Python-based missions requested from them in various ways of participation. With this study, it was designed as a robotic training that can be completed by users with pre-intermediate ROS knowledge

and Python knowledge. Training topics include various stages from reading robot sensor data to using mixed motion algorithms.

A. Hospital Missions

In-hospital service tasks designed for the ATEKS robot begin with the reading of the sensor data of ATEKS and the examinations to be made in the simulation environment with the manual use of ATEKS. The exercises end with the completion of tasks that require the robot to use various motion algorithms effectively. The basis of these tasks is focused on writing the necessary Python codes for the robot to complete the task, creating the launch files or creating the necessary srv/msg files. These missions and their explanations are as shown in the mission chart below.



Figure 24. ATEKS missions

Mission I: Developing Sonar Data Reading Node

Mission Purposes: It is aimed to design and read the data of the sonar sensors owned by ATEKS first from the terminal and then a ROS node that will do this reading. The main element of the mission is to follow ATEKS's sonar sensors over the Python code and use this data in the future.

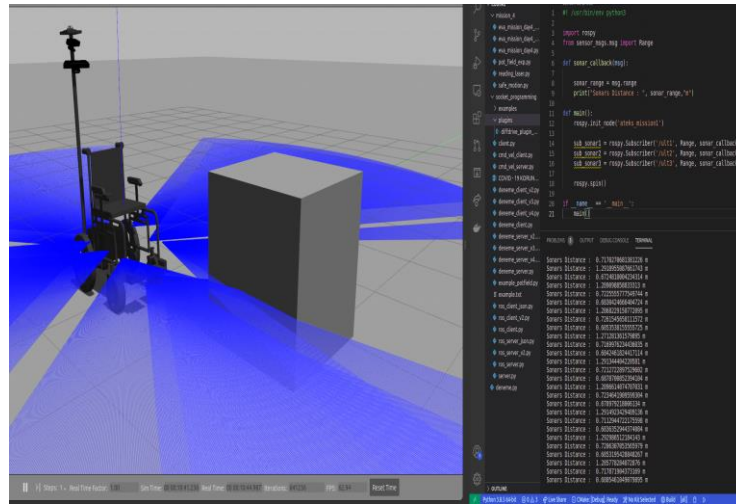


Figure 25. Sonar data when an obstacle is placed in front of ATEKS

Mission II: Developing Camera Data Reading Node

Mission Purposes: It is aimed to design and read the data of the sonar sensors owned by ATEKS first from the terminal and then a ROS node that will do this reading. The main element of the mission is to monitor ATEKS's sonar sensors over the Python code and use this data in the future.

Mission III: Developing Laser Data Reading Node

Mission Purpose: It is aimed to design and read the data of the laser sensor owned by ATEKS first from the terminal and then a ROS node that will do this reading. Tracking the laser sensor of ATEKS through Python code and enabling the use of this data in the future forms the main element of the mission.

Mission IV: Creating an Obstacle Avoidance Node

Mission Purpose: In the fourth of ATEKS hospital missions, it is aimed to create an algorithm that will prevent the robot from hitting the obstacles by using the data of the sensor tools used in the previous sections and to prepare the ROS node on Python.

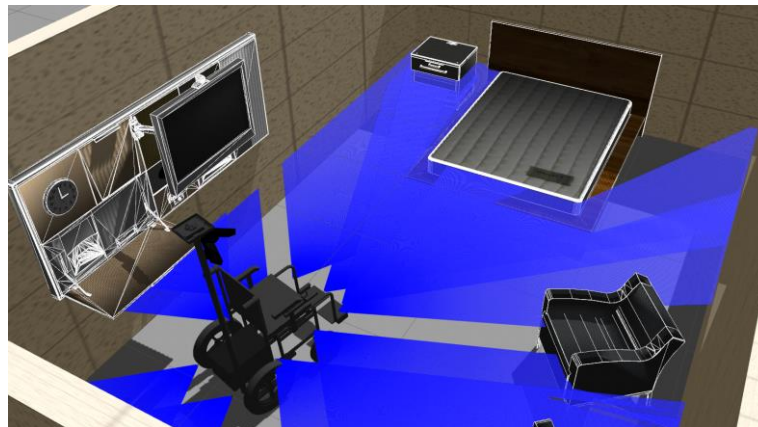


Figure 26. ATEKS obstacle avoidance mission in hospital environment

Mission V: Development of Motion Planning Algorithm

Mission Purpose: In the fifth of ATEKS hospital duties, it is aimed to create an algorithm that will enable the robot to go to any desired location by using the data of the sensor tools (laser sensor) used in the previous sections and to prepare the ROS node via Python.

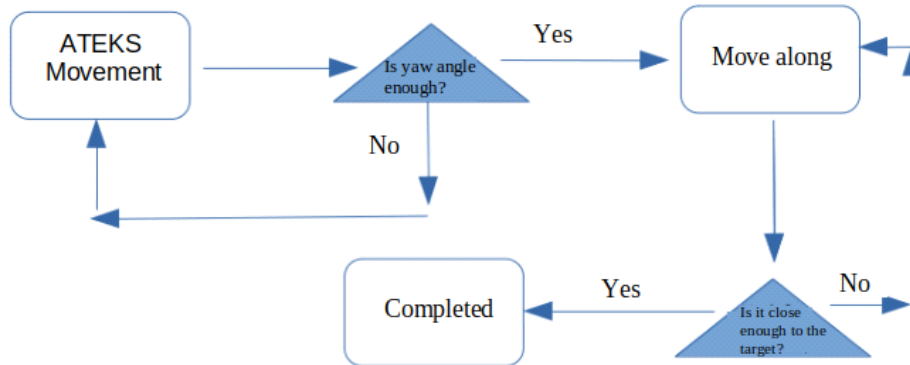


Figure 27. ATEKS motion planning algorithm diagram

Mission VI: Developing a Wall Tracking Algorithm

Mission Purpose: In the sixth of ATEKS hospital missions, it is aimed to create an algorithm that will allow the robot to follow the wall by keeping a certain distance from the wall by using the data of the sensor tools used in the previous sections and to prepare the ROS node on Python.

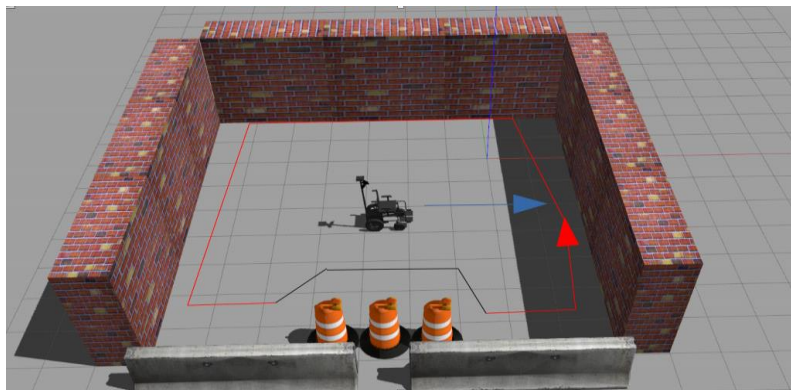


Figure 28. ATEKS wall tracking algorithm

The wall tracking algorithm in Figure 29 consists of three main movements:

- Finding the Target: The first action of ATEKS takes place by making a progress movement until the obstacle is within its range.
- Obstacle Tracking: ATEKS puts a certain distance between the obstacle and proceeds by maintaining this distance.
- Obstacle Relief: ATEKS continues its movement by reacting to the momentary changes in the distance between the obstacle by getting rid of the obstacle.

Mission VII: Setting Up ATEKS Move-I Simple Motion Algorithm

Mission Purpose: In the seventh of ATEKS hospital tasks, it is aimed to create a simple motion algorithm called ATEKS Move-I by using the motion algorithms designed in the previous sections and to prepare the ROS node on Python. With this movement node, ATEKS's wall tracking, obstacle avoidance and going to a certain point algorithm are combined and a basic target transfer node is formed.

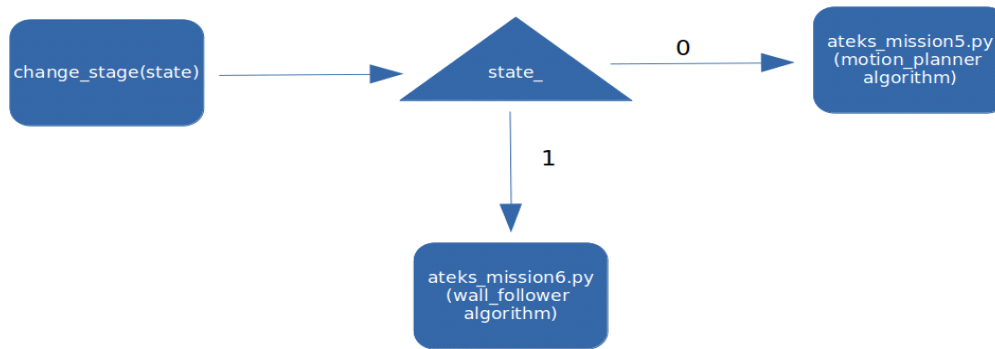


Figure 29. Change state motion diagram

Mission VIII: Setting Up ATEKS Move-II Advance Motion Algorithm

Mission Purpose: In the eighth of ATEKS hospital duties, it is aimed to create a more advanced motion algorithm called ATEKS Move-II and to prepare the ROS node on Python by using ATEKS Move-I, the motion algorithm designed in the previous section. With this movement node, ATEKS's wall tracking, obstacle avoidance and going to a certain point algorithm are combined and a basic target node is more optimized.

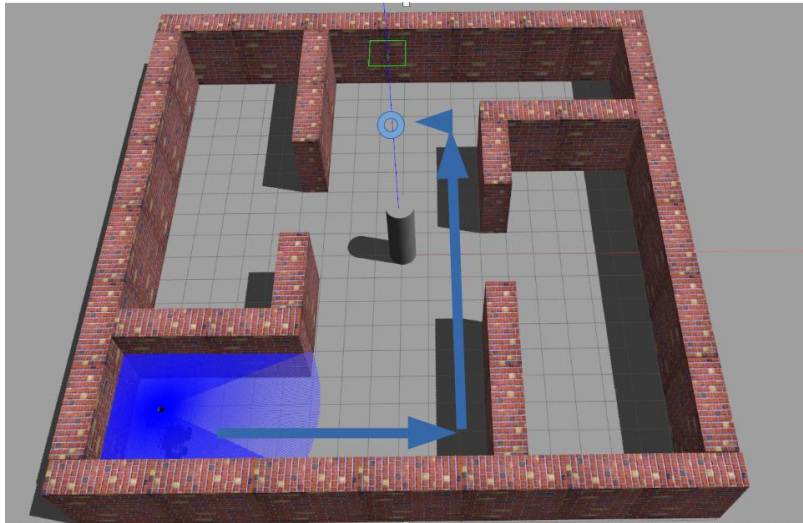


Figure 30. ATEKS Move-II movement route

Mission IX: Mapping with Wall Tracking Algorithm

Mission Purpose: In the last of ATEKS hospital missions, it is aimed to perform autonomous environment mapping with motion algorithms developed during the task package.

VII. AGV-OTA MISSION TUTORIAL

This tutorial is an educational guide in which the necessary studies for a possible factory mission training scenario designed for "AGV-OTA Robot" are set up and explained. With this simulation training designed to work in a factory model in a Gazebo environment, users are expected to complete this training by performing the ROS and Python-based missions requested from them in various ways of participation. Training topics mainly include robotic motion and herd robot motion algorithms, focusing on the basic coordinated motion algorithms required for a real closed factory, especially on the use of this robot in multiple states.



Figure 31. AGV-OTA

A. Factory Missions

AGV-OTA in-plant service tasks begin with the creation of the spawn files of three AGV-OTA robots and are completed with environmental mapping work using swarm robots. The basis of these tasks is focused on writing the necessary Python codes for the robot to complete the task, creating the launch files or creating the necessary srv/msg files. The details of these tasks are as shown in the diagram below.

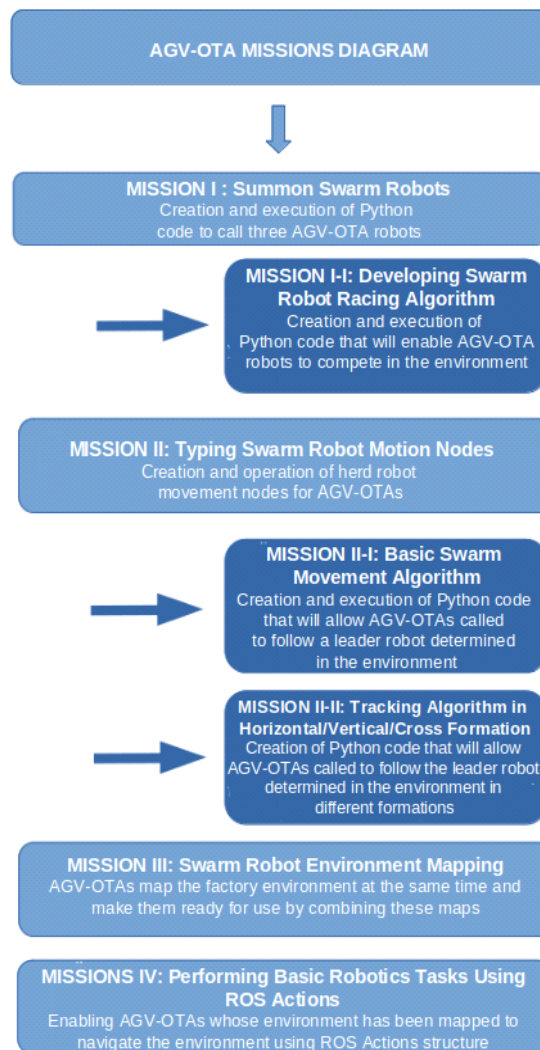


Figure 32. AGV-OTA missions

Mission I: Summon Swarm Robots

Mission Purpose: The first task of this training, which is based on the scenario of using the AGV-OTA robot in a closed factory in multiple ways, is a simple Python that will enable to write the launch file that will allow three calls from AGV-OTA to the prepared closed factory environment and to test that all sensors of the called robots are working aims to write the code.

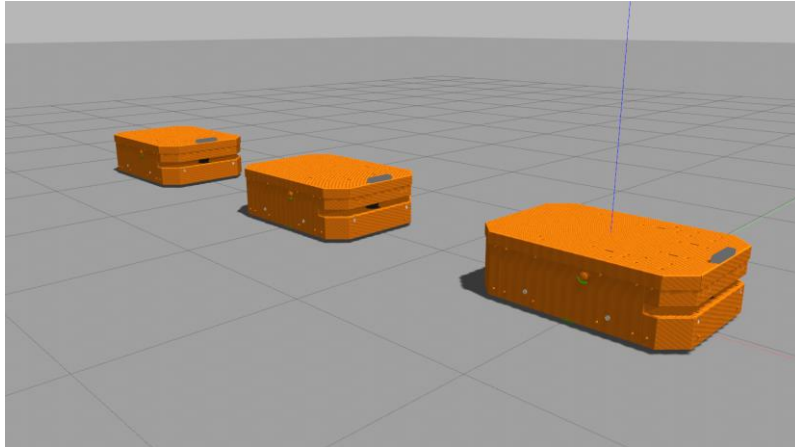


Figure 33. Summoned three AGV-OTA robots

Mission I-I: Developing Swarm Robot Racing Algorithm

Mission Purpose: This first side task of the AGV-OTA factory training missions is one of the sub-tasks created on the basis of the first task, which does not affect the main task series very much. The purpose of these side missions is to enable the user to use the knowledge acquired in the main tasks in a more diverse way. In this first side task, it is aimed for the user to create a lot of robot racing algorithms and apply it on AGV-OTAs. The user, who will ensure that random speeds are given every three seconds for the three robots called side by side, will set a designated zone as the end zone of the race, and the robots that reach there will feedback their degrees to the user.

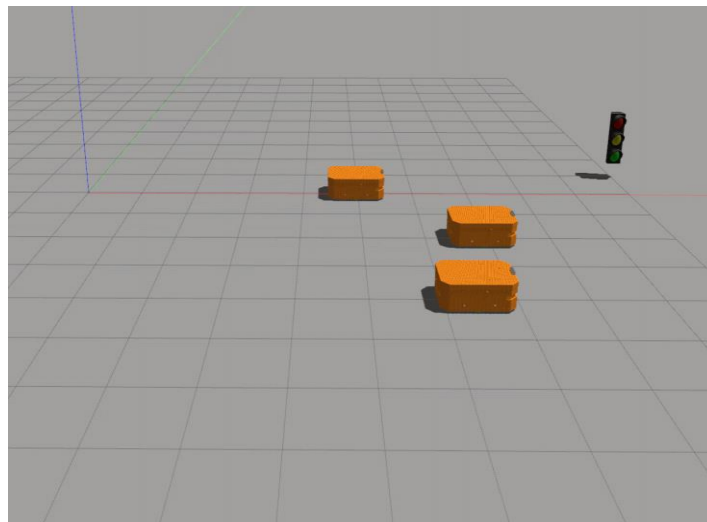


Figure 34. Racing of AGV-OTA's

Mission II: Typing Swarm Robot Motion Nodes

Mission Purpose: In this second task of AGV-OTA factory training tasks, the user is expected to designate one of the AGV-OTAs as the leader robot and perform various movement and formation commands that will enable this leader robot to imitate the movements of the other two robots. These movement and formation types are also divided into two sub-tasks.



Figure 35. Factory environment of AGV-OTA's

Mission II-I: Basic Swarm Movement Algorithm

Mission Purpose: It is aimed to ensure that AGV-OTAs accompany the movements of the leader robot. The user should observe that he can control all robots via a single robot in order to perform various handling tasks effectively within the factory.

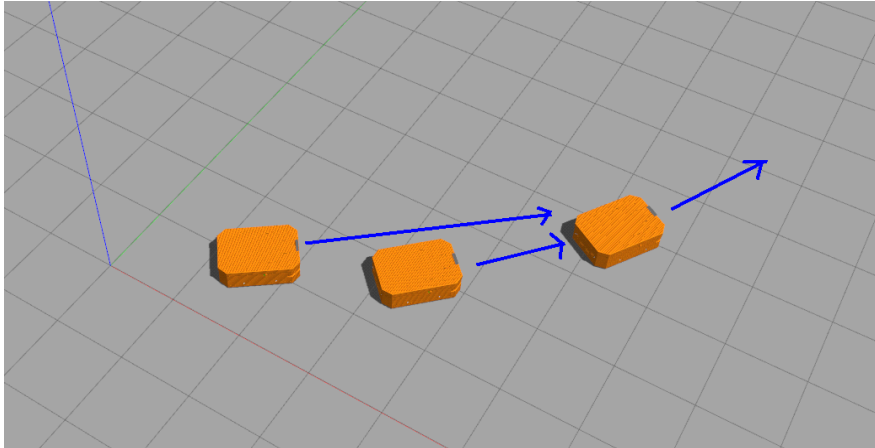


Figure 36. Leading robot (AGV-OTA1) and its followers progress direction

Mission II-II: Tracking Algorithm in Horizontal/Line/Cross Formations

Mission Purpose: In this sub-task, it is aimed to ensure that robots position themselves in different formations compared to the leader robot. These formations should be developed to increase the mobility of robots within the factory.

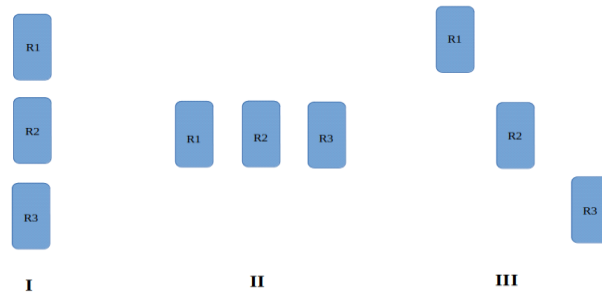


Figure 37. I-Line, II-Horizontal, III-Cross Formations

Mission III: Swarm Robot Environment Mapping

Mission Purpose: In the third of the AGV-OTA factory training tasks, it is aimed for AGV-OTAs to map the factory environment in which they are found. However, since each robot will create its own map separately, these maps must be combined and saved as a single map at the end of the mission. The user is expected to write the code to provide this.

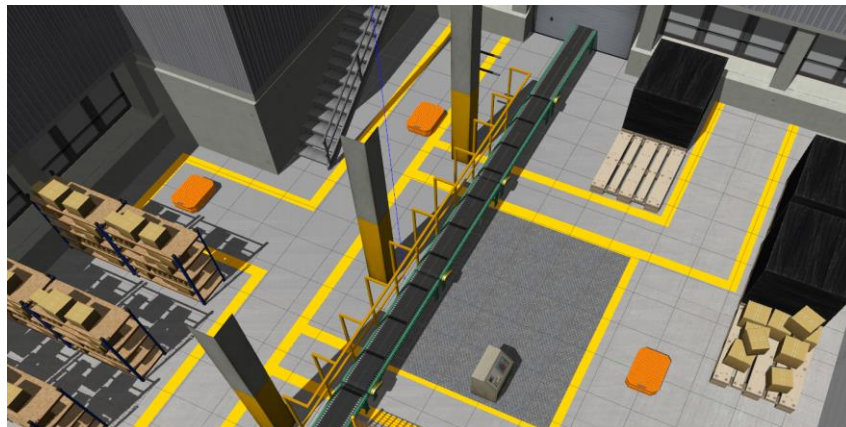


Figure 38. AGV-OTA's in the factory for mapping

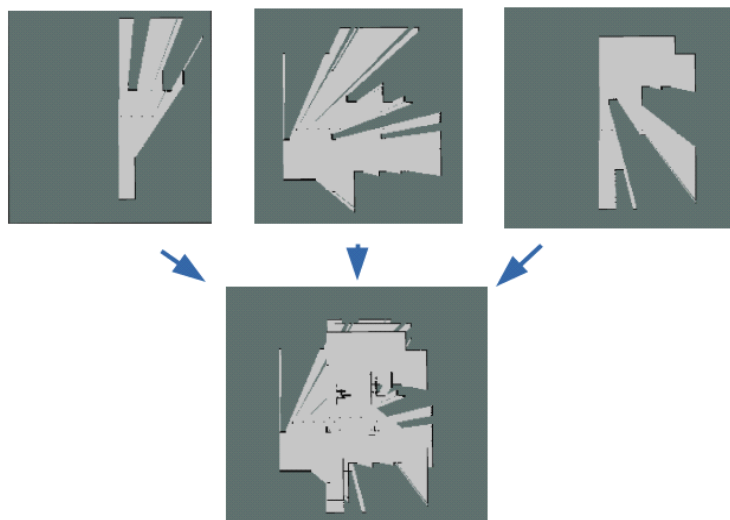


Figure 39. Combining the maps of three robots that they received at first

Mission IV: Performing Basic Robotics Tasks Using ROS Actions

Mission Purpose: In the last of the AGV-OTA factory training tasks, it is aimed to carry out a sample study from the applications of ROS Actions structure to swarm robots. With this work, the user should understand the ROS Actions structure, see the difference with the ROS Service structure and apply it.

Action Interface

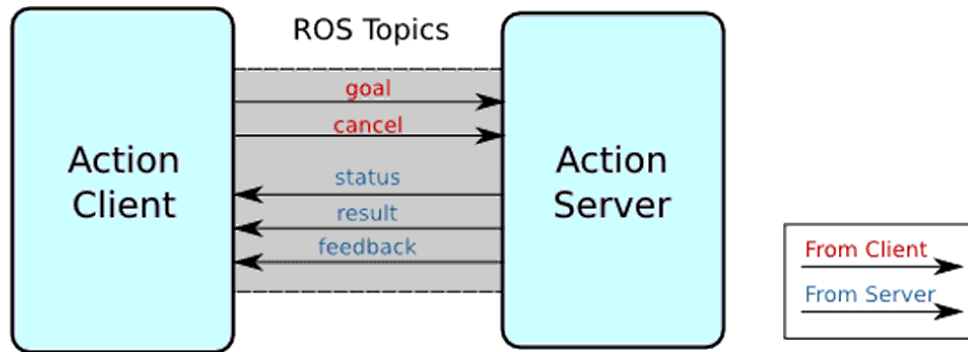


Figure 40. ROS Action interface

VIII. DISCUSSIONS AND CONCLUSION

In this study, virtual robotic laboratory (U-Plat) which is accessible through link <https://www.theuplat.com> has been proposed. U-Plat is a virtual laboratory platform for learning ROS. U-plat provides tools for more effective educational and research activities compared to conventional approaches to teaching and researches in Robotics. Uplat tutorials can be applied via any internet browser without having to deal with complex ROS and Ubuntu installations on the local computer. All software tools designed and used for robotic education studies are presented with a simplified interface, considering the user experience as comfortable and easy as possible. All designed training tools are provided through a web interface supported by advanced cloud systems and Docker container infrastructure.

EvaMars robot exploration missions and others are presented with tutorials. Completion of all tutorials provides many learning outcomes in ROS and Gazebo.

In the future work, integration API will be developed for Massive Open Online Course (MooC) websites like edx, coursera, udemy, khanacademy etc. Furthermore, U-Plat system will be integrated with the real-world robots and become a remote & virtual robotic laboratory. Besides Mars Robot and Mars missions, U-Plat supports all ROS compatible robots and more ROS compatible robots will be added to U-Plat in near future.

ACKNOWLEDGMENT

This study is supported by İnovasyon Mühendislik Ltd. Şti.

REFERENCES

- [1] Yayan, U., Akar, B., Inan, F., & Yazici, A. (2014). Development of indoor navigation software for intelligent wheelchair. In *2014 IEEE International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA) Proceedings*, 325-329.
- [2] Edrees, M. E. (2013). eLearning 2.0: Learning management systems readiness. In *2013 Fourth International Conference on e-Learning" Best Practices in Management, Design and Development of e-Courses: Standards of Excellence and Creativity"*, 90-96.
- [3] Gomes, L., & Seta, B. (2009). Current trends in remote laboratories. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 56(12), 4744-4756.
- [4] Lin, Y., Wang, S., Wu, Q., & Chen, L. (2019). Key technologies and solutions of remote distributed virtual laboratory for E-learning and E-education. *Mobile Networks and Applications*, 24(1), 18-24.
- [5] Schmid, C., Eikaas, T. I., Foss, B., & Gillet, D. (2001). A remote laboratory experimentation network. *IFAC Proceedings Volumes*, 34(9), 515-520.

- [6] Alkhalidi, T., Pranata, I., & Athauda, R. I. (2016). A review of contemporary virtual and remote laboratory implementations: observations and findings. *Journal of Computers in Education*, 3(3), 329-351.
- [7] Tzafestas, S. G. (2009). Web-based control and robotics education.
- [8] Santana, I., Ferre, M., Izaguirre, E., Aracil, R., & Hernandez, L. (2012). Remote laboratories for education and research purposes in automatic control systems. *IEEE transactions on industrial informatics*, 9(1), 547-556.
- [9] Minamide, A., Yamada, H., Takemata, K., & Hastie, M. (2012). Redesign Long-Distance-Controlled Robot System for distance education. In *2012 7th International Conference on Computing and Convergence Technology (ICCT)*, 472-475.
- [10] McKee, G., & Barson, R. (1995). NETROLAB: a networked laboratory for robotics education, 8, 8.
- [11] Casini, M., Garulli, A., Giannitrapani, A., & Vicino, A. (2010). A matlab-based remote lab for multi-robot experiments. *IFAC Proceedings Volumes*, 42(24), 162-167.
- [12] Casini, M., Garulli, A., Giannitrapani, A., & Vicino, A. (2014). A remote lab for experiments with a team of mobile robots. *Sensors*, 14(9), 16486-16507.
- [13] Neamtu, D. V., Fabregas, E., Wyns, B., De Keyser, R., Dormido, S., & Ionescu, C. M. (2011). A remote laboratory for mobile robot applications. *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1), 7280-7285.
- [14] Xue, X., Yang, S. X., & Meng, M. H. (2005). Remote sensing and teleoperation of a mobile robot via the internet. In *2005 IEEE International Conference on Information Acquisition*, 6.
- [15] Petrović, P., & Balogh, R. (2012). Deployment of Remotely-Accessible Robotics Laboratory. *International Journal of Online Engineering*, 8.
- [16] Yang, X., Petriu, D. C., Whalen, T. E., & Petriu, E. F. M. (2004). A web-based 3d virtual robot remote control system. In *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 2004 (IEEE Cat. No. 04CH37513)*, 2, 955-958.
- [17] Casini, M., Chinello, F., Praticchizzo, D., & Vicino, A. (2008). RACT: A remote lab for robotics experiments. *IFAC Proceedings Volumes*, 41(2), 8153-8158.
- [18] Marin, R., León, G., Wirz, R., Sales, J., Claver, J. M., Sanz, P. J., & Fernández, J. (2009). Remote programming of network robots within the UJI industrial robotics telelaboratory: FPGA vision and SNRP network protocol. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(12), 4806-4816.
- [19] Kuzucuoglu, A. E., & Erdemir, G. (2011). Development of a web-based control and robotic applications laboratory for control engineering education. *Information technology and control*, 40(4), 352-358.
- [20] Ionescu, C. M., Fabregas, E., Cristescu, S. M., Dormido, S., & De Keyser, R. (2013). A remote laboratory as an innovative educational tool for practicing control engineering concepts. *IEEE Transactions on Education*, 56(4), 436-442.
- [21] Balestrino, A., Caiti, A., & Crisostomi, E. (2008). From remote experiments to web-based learning objects: An advanced telelaboratory for robotics and control systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(12), 4817-4825.
- [22] Masár, I., Bischoff, A., & Gerke, M. (2004). Remote experimentation in distance education for control engineers. *Proceedings of Virtual University*, 16-17.
- [23] Šafarić, R., Truntič, M., Hercog, D., & Pačnik, G. (2005). Control and robotics remote laboratory for engineering education. *International Journal of Online Engineering*, 1(1), 1-8.
- [24] Dwivedi, Y. K., Hughes, D. L., Coombs, C., Constantiou, I., Duan, Y., Edwards, J. S., ... & Upadhyay, N. (2020). Impact of COVID-19 pandemic on information management research and practice: Transforming education, work and life. *International journal of information management*, 55, 102211.
- [25] Sagiroglu, S., Yilmaz, N., & Wani, M. A. (2006). Web robot learning powered by bluetooth communication system. In *2006 5th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA'06)*, 149-156.
- [26] Popescu, D., Selisteanu, D., Dinulescu, I., & Popescu, L. C. (2008, July). Web based telematics application for robotics. In *2008 The Third International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology (iccg 2008)*, 19-24.
- [27] Potkonjak, V., Vukobratović, M., Jovanović, K., & Medenica, M. (2010). Virtual Mechatronic/Robotic laboratory—A step further in distance learning. *Computers & Education*, 55(2), 465-475.
- [28] Moody, J. A. O., Alonso, R. E. S., Barbosa, J. J. G., & Morales, G. R. (2016). Virtual laboratories for training in industrial robotics. *IEEE Latin America Transactions*, 14(2), 665-672.
- [29] Ghayoor, F. (2020). A MATLAB-based virtual robotics laboratory: Demonstrated by a two-wheeled inverted pendulum. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, 57(4), 301-320.
- [30] Suwasono, S., Prihanto, D., Wahyono, I. D., & Nafalski, A. (2017). Virtual Laboratory for Line Follower Robot Competition. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7(4), 2253.

- [31] Lin, M., San, L., & Ding, Y. (2020, March). Construction of robotic virtual laboratory system based on Unity3D. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 768(7), 072084.
- [32] Peidró, A., Tendero, C., Marín, J. M., Gil, A., Payá, L., & Reinoso, O. (2018). m-PaRoLa: a Mobile Virtual Laboratory for Studying the Kinematics of Five-bar and 3RRR Planar Parallel Robots. *IFAC-Papers On Line*, 51(4), 178-183.
- [33] Favario, L. (2018, December). Remote Programming Environments: the Robotic Laboratory Case. In *2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)*, 820-824.
- [34] Jara, C. A., Candelas, F. A., & Torres, F. (2008). Virtual and remote laboratory for robotics e-learning. In *Computer Aided Chemical Engineering*, 25, 1193-1198.
- [35] Román-Ibáñez, V., Pujol-López, F. A., Mora-Mora, H., Pertegal-Felices, M. L., & Jimeno-Morenilla, A. (2018). A low-cost immersive virtual reality system for teaching robotic manipulators programming. *Sustainability*, 10(4), 1102.
- [36] Xu, X., Guo, P., Zhai, J., & Zeng, X. (2020). Robotic kinematics teaching system with virtual reality, remote control and an on-site laboratory. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 48(3), 197-220.
- [37] Yayan, U. (2020). *Virtual Robotic Laboratory (Uplat) Cloud Challenge* [Video]. Youtube. <https://youtu.be/rggLZCkaN6k>
- [38] Helming, Jonas; Koegel, Maximilian (2018-06-20). *"What is Eclipse Theia?"*. EclipseSource. Retrieved 2022-03-12.

Araştırma Makalesi- Research Article

Change Point Detection Methods for Locating Activations in Functional Neuronal Images

Fonksiyonel Nöronal Görüntülerde Aktivasyonların Yerini Belirlemek için Değişim Noktası Algılama Yöntemleri

Cemre Candemir^{1*}, Kaya Oğuz²

Geliş / Received: 21/03/2022

Revize / Revised: 23/05/2022

Kabul / Accepted: 30/05/2022

ABSTRACT

The most common analysis for fMRI images is activation detection, in which the purpose is to find the locations in the brain that respond to specific functions, such as visual processing or motor functions by providing related stimuli as tasks in the experiment. On the other hand, it is also important to detect the instance the activation is triggered. One of the powerful techniques that can analyze the abnormal behavior of any data is change point (CP) analysis. We suggest that CP detection algorithms also can be used to locate the activations in functional magnetic resonance imaging (fMRI) sequences, as well. Our paper presents a two-fold innovative study in that respect. First, we propose to use CP detection algorithms to locate the activations in fMRI signals as a state-of-art topic. Furthermore, we propose and compare a set of change point analysis methods, a regression-based method (RBM), a statistical method (SM), and a mean difference of double sliding windows method (MDSW)) to locate such points. Second, we apply these methods to the fMRI signals, which are acquired from the real subjects, while they were performing fMRI tasks. Proposed methods were applied to three different fMRI experiments with a motor task, a visual task, and a linguistic task. The analysis shows that the methods find activations in accordance with established methods such as statistical parametric maps (SPM). The acquired up to 94 % results also show that the proposed methods can be used effectively to locate the activation times on fMRI time series.

Keywords – Activation Detection, Activation Instance, Change Point Problem, fMRI, Regression

ÖZ

fMRI görüntüleri için en yaygın analizde amaç, deneyde görevler olarak verilen ilgili uyarılara karşılık beyinde görsel işleme veya motor işlevler gibi belirli işlevlere yanıt veren konumları bulan aktivasyon tespitidir. Öte yandan, aktivasyonun tetiklendiği anın tespit edilmesi de önemlidir. Herhangi bir verinin anormal davranışını analiz edebilen güçlü tekniklerden biri de değişim noktası (DN) analizidir. CP algılama algoritmalarının, fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) dizilerindeki aktivasyonları bulmak için de kullanılabilirliğini öneriyoruz. Makalemiz bu açıdan iki yönlü yenilikçi bir çalışma sunmaktadır. İlk olarak, son teknoloji bir konu olarak fMRI sinyallerindeki aktivasyonları bulmak için CP algılama algoritmalarını kullanmayı öneriyoruz. Ayrıca, bu tür noktaları bulmak için bir dizi değişim noktası analiz yöntemi, regresyon tabanlı yöntem, istatistiksel yöntem ve kayan çift pencere yöntemi öneriyor ve karşılaştırıyoruz. İkinci olarak, bu yöntemleri, fMRI görevlerini gerçekleştirirken gerçek deneklerden elde edilen fMRI sinyallerine uyguluyoruz. Önerilen yöntemler, bir motor görev, bir görsel görev ve bir dilsel görev olmak üzere üç farklı fMRI deneyine uygulandı. Analiz,

^{1*}Corresponding author contact: cemre.candemir@ege.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-9850-137X>)

International Computer Institute, Ege University, 35100, Bornova, Izmir

²Contact: kaya.oguz@ieu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-1860-9127>)

Department of Computer Engineering, Engineering Faculty, Izmir University of Economics, 35330, Balçova, Izmir

yöntemlerin, istatistiksel parametrik haritalar (SPM) gibi yerleşik yöntemlere uygun aktivasyonlar bulunduğunu göstermektedir. Elde edilen %94'e varan sonuçlar, aynı zamanda önerilen yöntemlerin fMRI zaman serilerinde aktivasyon anlarını bulmak için etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler- *Aktivasyon Tespiti, Aktivasyon Anları, Değişim Noktası Problemi, fMRI, Regresyon*

I. INTRODUCTION

It is frequently a matter of interest to know whether there is an existence of change during the analysis of time series. Unexpected abrupt changes or breaks in these series are defined as “change points (CPs).” Since the change point detection (CPD) is an efficient method, it could be applied in various disciplines successfully, such as economy and finance [1], medicine and genetics [2-4], climatology and meteorology [5-7] etc. Because of its applications in these disciplines, various approaches have been proposed to estimate and detect them.

The widely used method in CPD is the Bayesian based approach [8], followed by Hidden Markov Chain [9], maximum likelihood estimation [10], quasi-likelihood estimation [11], regression-based models [12, 13], machine-learning based models [14,15]. Although these methods are frequently used, there are many other algorithms in the literature. A comprehensive survey gives more information in detail [16]. This study extends our previous work [17] that proposed CPD method lays on regression and the statistical features of the data. Apart from the previous study, we have focused on the data acquired from functional magnetic resonance imaging (fMRI) experiments.

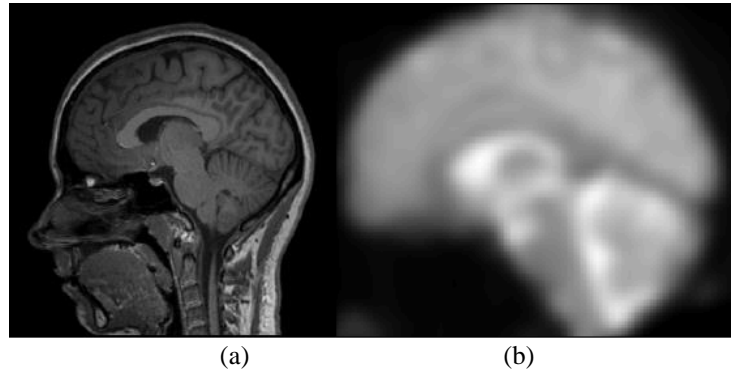


Figure 1. Sagittal axis views of (a) the structural image (b) fMRI image.

MRI is a commonly used medical imaging technique to capture the structure of tissues *in vivo*. As the name suggests, it uses a very large magnetic field to align the spin of the hydrogen atoms present in the tissues. The spins are disturbed to tilt them using a signal with specific frequency, called Larmor frequency. This signal is called a pulse, and once it is turned off, the tilted spins start to realign themselves with the magnetic field again. During their alignment, they emit a signal that can be captured by the MRI device. To form an image, the magnetic field must be varied along a slice. Like pixels in an image, the slice contains average signal values from unit volumes, called voxels. This process is repeated for a set of slices, to create a volumetric representation of the tissue [18], as can be seen from a sample mid-slice shown in Figure 1.a. Functional MRI (fMRI) is a mode of MR imaging where the focus is not on the structure of tissues but on the change of blood oxygen levels in the brain, as shown in Figure 1.b. It rests on the idea that the neurons in the brain need energy to fire. The oxygen transported with hemoglobin molecules in the blood stream supplies this energy. The hemoglobin molecules with the oxygen are diamagnetic and they affect the magnetic fields in their vicinity. Once they are free of the oxygen, they become paramagnetic. These inhomogeneities are captured by the scanner in a series of acquisitions, creating a time series for every voxel [18]. This contrast is called the blood oxygen level-dependent (BOLD) [19]. The response to stimulus is called the hemodynamic response and its change in time is called the hemodynamic response function (HRF) [20]. The structure of the HRF is given in Figure 2. The time series of the functional images are modeled with the convolution of the given stimulus and the HRF. The fMRI experiments make use of these time series to analyze brain functions.

The most common analysis is activation detection, in which the purpose is to find the locations in the brain that respond to specific functions, such as visual processing or motor functions by providing related stimuli

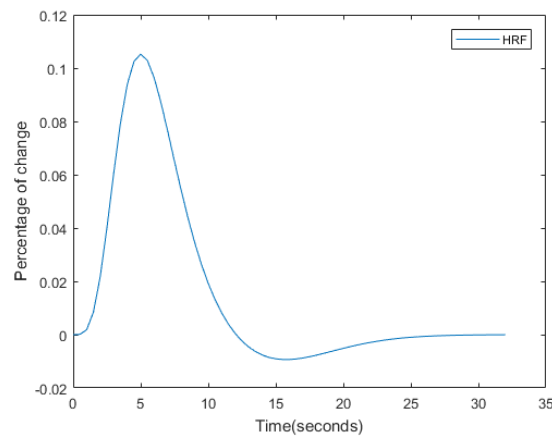


Figure 2. The hemodynamic response function generated by SPM's `spm_hrf()` method..

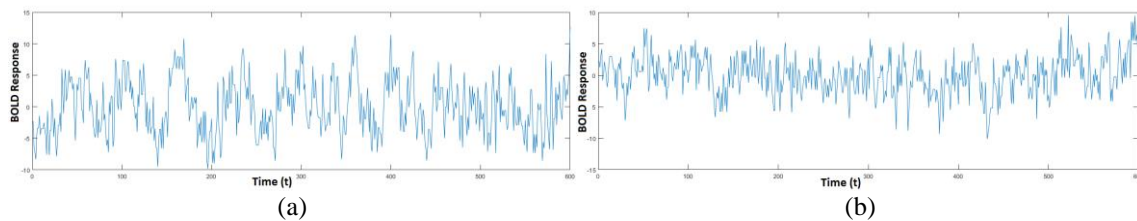


Figure 3. Time series of (a) a non-active voxel (b) an active voxel. Here, x-axis denotes the time, whereas y-axis denotes the BOLD response along the time.

as tasks in the experiment. The activated voxel is expected to respond with the HRF, which shows an increase in the BOLD signal. Figure 3 shows a sample time series for a non-active and an active voxel. Another analysis is resting state analysis, where instead of tasks the subject lies still, and the data is analyzed for correlations of time series in different regions.

Besides the activation detection, finding the timing of the activations is also another important question and traditional activation detection methods could not reveal such points. The timing of the activations on the fMRI signals should be consistent with the timing of given stimuli. Delays or non-activations may include crucial information about some psychological or physical abnormalities and such instances should be located as they occurred. In this study, we propose the model the activation instances as *change points* and suggest to use CPD algorithms in fMRI signals to find the locations of the activations which occurs with the given stimuli along the time. The paper presents a multi-fold innovative study in that respect. Contributions can be listed as follows:

- We propose to use CP detection algorithms to model the activations as if they are the abnormal behaviors of the fMRI signal.
- We propose and compare a set of change point analysis methods, a regression-based method (RBM), a statistical method (SM), and a mean difference of double sliding windows method (MDSW)) to locate such points.
- We apply these methods to the fMRI signals, which are acquired from the real subjects, while they were performing fMRI tasks. Proposed methods were applied to three different fMRI experiments with a motor task, a visual task, and a linguistic task in this context.

The following section discusses the related work on the change point problem and activation detection in fMRI. The third section is about the acquisition and the preprocessing of the fMRI data. Details of the proposed methods are presented in Section IV and the results are given in Section V. Discussions are presented in Section VI.

II. RELATED WORK

Change point problems could be categorized in 'estimation' and 'detection' subcategories. The first step in estimation is to investigate whether there is a change in the data or not. If there is no prior knowledge that the data contains any changes, hypothesis tests are used to examine the existence of the CP. Here, H_0 (null hypothesis) shows that the data set has a homogeneous structure, while H_1 (alternative hypothesis) points out the presence of at least one such point in the data. In this study, we seek the locations of the activation points and due to the structure of the fMRI task that will be detailed in Section III, it is known that there is at least one CP.

The more complex part of CP problem is detection. The detection problem searches for the locations of CPs that are known to exist somewhere in the data. One of the fundamental methods named Cumulative Sum (CUSUM) is a very powerful and efficient statistical method and can be adapted in a wide variety of problems such as financial trading and anomaly detection [21,22]. Besides CUSUM and its hybrid variations, Shiryaev-Roberts (SR) is also a powerful and important method to detect such points [23]. The robustness of the SR method on change detection problems has been widely discussed in the study of Du et.al. [24].

In CPD problems, most commonly used methods are Bayesian based. The main idea of the Bayesian methods rests on the posterior probability and the prior probability comparisons. An inference that shows whether there is a significant change or not is done by evaluating and differentiating the probability densities together. Bayesian based methodologies can be classified as offline and online. Offline approaches handle the data set as a batch and identify the locations of the points by looking back to the whole data set. Many of the Bayesian studies work offline on a fixed size data [25-27]. On the other hand, online approaches work on a sequential data and aim to detect the locations of the CPs as soon as possible after they occur. Online algorithms must update themselves quickly with every new observation stream. The effectiveness of the online algorithm depends on the ability to detect the CPs by the number of the least observed data in the new observation stream. One of the leading studies of Bayesian online change point detection (BOCPD) is discussed in [28]. Generalization of the BOCPD method which learns the parameters from the data model is suggested to solve the dependencies of the user dependent parameters [29]. Hierarchical Bayesian model [30], Gibbs sampling [31], Schwartz Information Criterion (SIC) [32], Markov Chain Monte Carlo (MCMC) [33], dynamic programming [34] and its hybrid applications with particle filters [35,36] are some other approaches that are based on Bayesian methodology.

Another widely used and referenced CPD methodology is Maximum Likelihood Estimation (MLE). The main idea behind the MLE is to be able to estimate the parameters of given distributions from the stream of the observed data. It aims to find the set of the parameter values that maximizes the likelihood function. MLE is used to evaluate the distributions before and after a point and infers a CP by considering these distributions of time. Using MLE in CP problems was introduced in 1970's [37, 38] and one of the milestones of this methodology belongs to the study discussed in [39] which suggests the generalization of single CPD using MLE and Expectation-Maximization (EM) in multipath CP problems. Empirical Likelihood Ratio (ELR) [40], Quasi Maximum Likelihood (QML) [41], Quasi Gaussian Likelihood (QGL) [42] are also some different methodologies that are based on the MLE.

Besides the methodologies mentioned above, another suggested methodology is using the regression model to detect the CPs. If data is stationary, the regression line is expected to have a constant slope. If there are major changes in the slope, it implies that the regression line is broken sharply at one or more points. The moments that the break occurs are defined as the CPs. One of the important studies that models the unknown CP dividing the regression line into two parts is presented in [43]. This method is insufficient because it is based on the knowledge that there is only one CP in the data. In the case where there are more than one, the exact number of the changes should be known. Furthermore, there are many hybrid studies which use the regression-based and other algorithms together. This methodology can be used to infer whether there is a change or not with using the MLE [44] and test the changes using a recursive residual model in multiple regression [45]. Regression is also used with combining other methodologies such as likelihood ratio tests [46], hybrid usage of SIC and binary segmentation [47], generalized MLE in logistic regression [48], penalized likelihood in piecewise regression [49] and genetic programming in sliding window symbolic regression [50].

III. MATERIALS AND PRELIMINARIES

A. fMRI Experiments and Activation Detection

As introduced earlier, functional magnetic resonance imaging aims to capture the change in oxygen levels in the blood while the subject is doing an fMRI task to locate the brain regions responsible for the performing functions. A basic fMRI experiment to locate the motor functions in the brain, for example, contains two tasks; one task where the subject is asked to tap their fingers in both hands, and another task where they are asked to lie still. Since the brain always in activating, it is a challenging situation, therefore, two different states are needed where one state includes the sought function and the other does not. In such an experiment, the regions responsible for the motor functions will have an increase in the BOLD contrast during the finger tapping task. This type of experiment is called a block design experiment.

Activation detection in fMRI studies is an important field that has been studied extensively. One of the first proposed activation detection methods is the subtraction method, as detailed in [51]. The experiment in the paper is a typical finger tapping task where the subjects are either at rest, or are tapping their fingers. This method takes the average volumes of the two tasks in the experiment and subtracts them from each other. The activated regions are located by the voxels with highest values. The paper also discusses the use of correlation between the voxel signals and the square wave form of the design of the experiment. The square wave form is obtained by setting the instances while the subject is at rest as zeros, and the instances while the subject is tapping as ones. This signal is also called a boxcar signal because of its shape. The correlation between this expected square wave form output and the received voxel signal reflect the correlation of voxel responses to the motor functions in the experiment.

While the correlation and the general linear model (GLM) which will be discussed in detail shortly dominate the literature, there are several other methods for detecting the activation in fMRI experiments, such as the application of parametric and nonparametric statistical tests [52], statistical tests with filters [53,54], cross-correlation analysis [55], statistical analysis in wavelet domain [56], principal component analysis (PCA) [57], Bayesian based approach on Relevant Vector Machines (RVM) [58], Bayesian multilevel models [59], independent component analysis (ICA) [60], support vector machines (SVM) [61] and regression based method [62] as well.

Statistical Parametric Maps (SPM), a widely used tool based on the GLM, is used to find active voxels in fMRI images [63,64]. The GLM is based on the equation given below with the (1),

$$Y = X\beta + U \quad (1)$$

Here, Y contains the BOLD values of voxels, X comprises of the variables effecting the fMRI task. GLM estimates the β matrix which shows how much each variable affects the signal. U is the error matrix that is assumed to be independent and identically distributed. After the β values are estimated, a contrast vector can be used to test for the effects inherent in the experiment.

The GLM approach is used extensively in both practice and the literature. The other software packages which implement the method to help both clinical and research experiments are FSL and AFNI.

Nevertheless, GLM may be limited when modeling the state-related single epoch paradigms such as emotional states, anxiety and social exclusion [65]. GLM is interested in the response given to the functions in the tasks. It uses the design matrix with the contrast vector to find the statistically significant voxels. Any function that is not in the task is not sought, and therefore cannot be located. This stops GLM from exploring the signals for activations that are not in a task. It does not allow its users to estimate the instance an emotional state triggers an activation. Although it is a powerful and an efficient method for analyzing the fMRI data, this constitutes as one of the limitations of the GLM model.

The methods discussed so far are effective, but they are used to find the activated regions in the brain. In addition to the activated regions, the instance the activation triggered is also an important question. So, in an additive manner to the GLM, it is required to know the timing and the magnitude together. However, it is a complicated problem and it is harder to specify the location of the activation point along the time, for both single subject and multiple subjects due to the subject variabilities of the BOLD response. Moreover, there may be more than one activation point according to the fMRI task, but some subjects may not show any response. There are relatively fewer studies for the detection of the activation points of fMRI data in the literature. The most important

studies on this problem use multi-subject extension of the exponentially weighted moving average (EWMA) [66] and hierarchical EWMA (HEWMA) [65]. Both models are applied on a state-related fMRI study related with anxiety. Another study is performed on a visual fMRI task and propose a computational framework in correlation networks [67].

In this study, we propose to find the timing of the activations of the subject, which is referred to as a “change point”, from fMRI signal along the time series. Detection of the exact timing of the activation can be handled as a CPD problem in time series. Thus, we extended our previous study that proposed CPD algorithms based on regression and statistical properties on well-log data set.

B. fMRI Data Acquisition and Preprocessing

The proposed methods are evaluated using three different data sets. Two of the data sets are collected using the Siemens 3T Magnetom scanner at the Ege University. The third data set is acquired using a SignaHDxt 1.5T scanner at the Brain Research Imaging Centre [68]. The subjects in the experiments are healthy volunteers. The task details are discussed in the following subsection.

fMRI data requires a set of processing stages due to artifacts that arise from the scanner and subjects. It is difficult for subjects to stay still during fMRI experiments that can take up to 30 minutes. Physiological functions such as breathing, and the heart rate also cause involuntary movements that can create artifacts. Scanner related artifacts may be caused by the temporal resolution, such as system noise, and spatial resolution such as radio-frequency artifacts. These artifacts should be eliminated in the preprocessing stage.

Preprocessing stage consists of several steps. The main objectives during preprocessing are to align the images to a standard space and to remove the noise as much as possible so that the validity of the group analysis is increased while the physiologic and scanner related artifacts are minimized. The preprocessing of the fMRI data is done with the SPMv12. SPM takes the first image as the reference volume and realigns the other images of the subject with rigid body transformations [69]. The realigning process also slices the volume again so that it matches the reference volume voxel by voxel. The average value for each voxel is calculated in this step, which results in a mean image.

Since the brain is modeled of multiple slices, there may be time differences between the slices during the fMRI scan. To handle this issue, slice timing is done to shift the time of each voxel to the same time course as if they have been scanned simultaneously at the same time. After all slices are aligned and synchronized in time, SPM registers the structural scan with the mean image that acquired in the realigning step [70].

In the segmentation step, brain is cleaned out from the surrounding tissues. These structures are classified according to the tissue probability map based on the knowledge of being specific types of tissue at specific locations. The structural image is also standardized to a global standard space during segmentation (MNI space) [71]. After this step, all images are registered to the MNI space and by this way, the analysis can be generalized among the subjects. Smoothing is the final preprocessing step which convolves the images with a Gaussian kernel to suppress the noise and artefacts caused by the residuals transferred from the previous steps.

C. Visual Task Data Set

This data set is acquired from a block design experiment to locate the regions responsible for visual processing. The first block contains the resting task, where the subject lies still looking at a blank screen for thirty seconds. The second block contains the visual task, where the subject is shown 6 successive photographs of random people from the study by [72] for 6 seconds each, followed by one second of blank screen. This second block takes 40 s to complete. These blocks are repeated for 12 times. The acquired image volumes consist of 36 slices, where each slice has a size of 64 by 64. The voxel size is 3x3x3.74 mm. The repetition time for the scans is 3 s, with an echo time of 30ms and a flip angle of 90 degrees. This data set is referred as DS1 throughout the manuscript.

D. Motor Task Data Set

This is a *finger tapping* experiment to locate the regions related to motor functions of the brain. It is a block design experiment that contains two tasks. The resting task requires the subject to lie still without any movement for sixty seconds. During the tapping task, they are instructed to tap their fingers on their both hands for 60 seconds. The tapping is self-paced. These tasks are repeated for 12 times. The repetition time for the scans is 2 seconds with an echo time of 30 ms and flip angle of 90 degrees. The acquired volumes have 23 number of

slices with a matrix of size 64x64. The voxel size is 3x3x3 mm. This data set is referred as DS2 throughout the manuscript.

E. Linguistic Task Data Set

This is a verb generation experiment for mapping the regions responsible for language in the brain. The subjects are asked to generate verbs according to the instructions they hear. The repetition time for the scans is 2.5 seconds, with an echo time of 50ms and flip angle of 90 degrees. There are 30 slices per volume and a matrix of size 64x64. The voxel size is 4x4x4mm [68]. This data was obtained from the OpenfMRI database. Its accession number is ds000114 (<https://openfMRI.org/dataset/ds000114/>). It is referred as DS3 throughout the manuscript.

F. Voxel Selection

All data sets are preprocessed using SPM, as mentioned in Section III.B. Then, they are analyzed using SPM which uses the general linear method. After this process, three voxels from each data set have been chosen; the first one is the statistically most active voxel, one is randomly chosen from the activated areas, and the third one is the least active voxel. Instead of using synthetically generated BOLD signals where the activations are known, signals from real subjects that have been detected as active by SPM and GLM have been chosen, since they are commonly used methods both in research and clinical operation.

IV. METHODS

A. Outlier Detection

The proposed methods make use of outlier detection methods to locate the exact CPs in the BOLD signals. A practical way to detect outliers is using their position from the mean value μ_x of the given signal X . The threshold distance is determined by multiplying the threshold coefficient p by the standard deviation σ_x . The generally used threshold coefficient value is $p=3$. The p value marks other time points as outliers which located outside the interval $(\mu_x - p \sigma_x, \mu_x + p \sigma_x)$.

Instead of using the standard deviation, another suggested method is to the use of the median absolute deviations (MAD). MAD is defined as $MAD = median(|X - median(X)|)$. For normal distributions, MAD is used with a scale factor k computed with the equation (2)

$$k = 1/(\Phi^{-1}(3/4)) \approx 1.4826 \quad (2)$$

Here, Φ is the opposing of the quantile function. The p coefficient is set to 3 and elements outside the interval $(\mu_x - p \times MAD(X), \mu_x + p \times MAD(X))$ are marked as outliers. Grubb's method may also detect the outliers as well [73]. Grubbs' method discovers one outlier at a time, removes it, and repeatedly re-evaluates the remaining points until no more outliers are found. Some of the remaining outliers may be statistically lost as a result of the elimination between repetitions.

B. Regression Based Method (RBM)

The activation in the BOLD signal is defined by a relative increase in the task that contains the sought function. This relative increase creates a change point which may be detected by the regression analysis of a window sliding through the signal. The detected change point represents the activation instance of the voxel. The regression line of such a window could be expressed as $Y = mx + b$ where m is the slope and b is the y-intercept. The relative increase of the BOLD signal is expected to create a shift in the positive direction in the given BOLD time series. This will result in an increase in m signaling the location of the change, as can be seen in Figure 4. This location, however, points out somewhere in a window of a fixed interval, and further processing is required for finding the point where the change occurs.

RBM analyzes the given time series X with a window size w , in fixed intervals defined with a step size of s . This method, known as the sliding window, estimates the slope m for each window using linear regression with the least squares method and gives the slope vector M . The parameters w and s depend on the time sequence of the fMRI data and should be set by trial and error.

M , the acquired slope vector, is then examined for outliers, which reflect the windows that depart the most from the mean and thus are potential intervals for change points. Outliers can be detected using any of the statistical approaches outlined in Section IV.A. Outlier identification can be used to identify outliers in a series of points. The interval containing the change point is chosen as the one with the greatest absolute value of m among them. This interval's first derivative is calculated, and the global maximum is chosen as the CP because it reflects the maximum change.

C. Statistical Method (SM)

CPs in the data can be determined using statistical parameters such as the mean. The mean of the data prior to the candidate CP considerably differs from the mean of the data following the candidate CP. The method specifies a window width (w), which sets the entry numbers analyzed preceding and following the candidate to discover this process. The window size w is determined by the nature of the fMRI data and should be determined via observation and experimentation.

The initial step of the algorithm is taking the $(w + 1)^{th}$ index and computes the mean of the preceding window w and gets the mean μ_1 . It obtains μ_2 by computing the mean of the window that starts at index $w + 2$. μ_1 indicates the change magnitude for the related time point. The outliers for vector D , which contains the mean differences for all points, are the candidates for change points. As before, any of the methods in Section IV-A can be used. Like the RBM, sequential points could be labeled as outliers. Since the activation will cause an increase in the BOLD signal, the point with the greatest positive mean difference is chosen as the CP.

D. Mean Difference of Double Sliding Windows (MDSW)

As opposed to the SM that considers the difference in the mean of two windows before and after the candidate point, Mean Difference of Double Sliding Windows uses the two windows of different sizes starting from the candidate point. The algorithm uses windows of size s_1 and s_2 to compute two mean values μ_1, μ_2 starting from the first index in the data. The convention is to set the second windows size to be greater than the first. As the algorithm iterates through the points in the data, the difference of $\mu_2 - \mu_1$ is stored on the vector M . The outliers in this vector are located using the outlier methods discussed in Section IV-A. Similar to other methods, a series of differences can be set as outliers. Since the HRF will result in an increase in the BOLD signal, the greatest positive value among these consecutive outliers is selected as the CP.

V. RESULTS

A. Testing Conditions

The algorithms are tested by varying the values for the outlier threshold, t , sliding window width (w), and the step size (s). The outlier detection is done using the median absolute deviations (MAD) as detailed in Section IV-A. In a few cases, the outliers are detected by their distance to the mean. These cases will be discussed in the following section. The threshold parameter is tested with the values 1, 2 and 3 for both MAD and mean outlier detection methodologies for all methods.

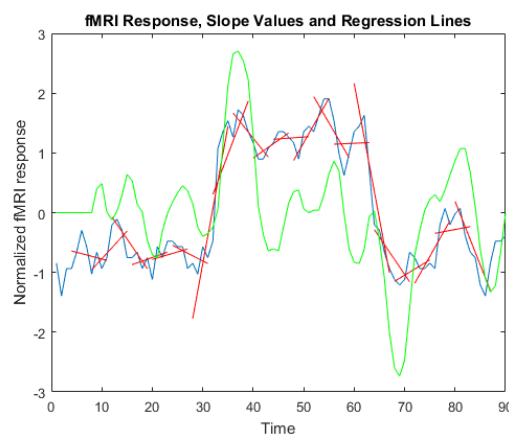


Figure 4. The fMRI response is shown in blue, the slope vector M is shown in green, and the regression lines for the windows are shown in red [74].

The second parameter is the window size. The repetition time for the functional image acquisition varies from 2 seconds to 3 seconds. Considering the time for the hemodynamic response function to peak, we have set the window size to be at least 4 scans, which varies from 8 to 12 seconds. As the stimulus continues the convolution of the signal and the HRF results in a signal similar to the one shown in Figure 3.b. Although values for the peak magnitude and the latency to start peaking may vary, the choice of window size should be large enough to contain the peak which takes around six to eight seconds after the stimulus is given.

The third parameter is the step size of the sliding window. If the step size is greater than the window, the algorithms can skip change points. The combinations where the step size is greater than the window size are discarded.

Not every parameter is needed for every method. The RBM is tested with the parameters w , t and s (window, threshold and step size respectively). The parameter w is tested with the values 4, 6, 8, 10 and 12. The

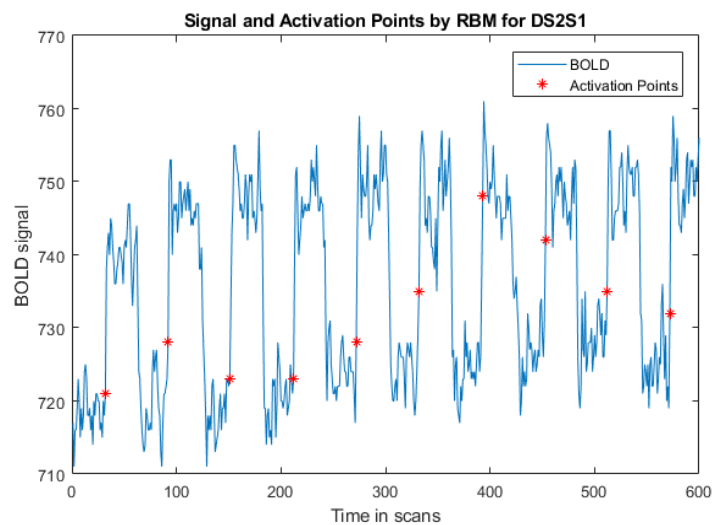


Figure 5. The plot shows the BOLD signal for the most activated pixel in the second data set, marked as DS2S1. The activation points are shown as red stars.

step size parameter is adjusted to 1, 4 and 8. SM is evaluated with the parameters w and the threshold t . These parameters are also set to the same values used for RBM. Finally, the mean difference of double sliding windows (MDSW) is tested with the t , s and two window sizes w_1 and w_2 . Both threshold and step size parameters are run with the same values used for RBM and SM. The double sized window size is selected as [4, 6], [6, 9], [8, 12], [10, 15] and [12, 18]. The second window is set as one half larger than the first one.

B. Evaluation and Results

The algorithms are evaluated by their precision of locating the expected activation instances. In block design experiments, such as the ones we are considering, the stimuli are given at fixed intervals. The algorithms return the change points as the activation instances they have detected (see Figure 5.). For an expected activation at instance a , the algorithm will detect a change point at instance c . This instance is expected to be as close as possible to instance a . However, we are not accepting any instance that is further away from the duration d of the task. The score sc of the algorithm, which is defined with the equation (3), is based on the ratio of the distance between the change point at c and the activation instance at a , to the duration d of the task.

$$sc = \frac{1}{\max(n_a, n_c)} \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_c} \max\left(\frac{(d - |a_i - c_j|)}{d}\right), \text{for } |a_i - c_j| < d \quad (3)$$

As shown in Equation (3), the maximum among the detected change points that are within the task duration are summed to compute the score for the expected activation point. The algorithm may return more change points than the expected activation points. In that case, the score uses the maximum number of change points for normalization ($\max(n_a, n_c)$). In the case that the algorithm detects fewer number of change points, then the

expected number of activation points are used for normalization. If the algorithm can detect all the activations precisely when they are expected, then it gets the maximum score of 1.

The results for the datasets DS1, DS2, and DS3 are given in Table 1. The signals for each dataset are selected among the most active voxels, which are detected by SPM, according to the activation regions for each fMRI task. To save the space, only the highest-ranking optimal parameters are listed in the table.

Table 1. Best detection scores and optimal parameters for the datasets DS1, DS2, and DS3.

	RBM		SM		MDSW	
	Parameters	Score (sc)	Parameters	Score (sc)	Parameters	Score (sc)
DS#1	$s = 4, w = 10, t = 1$	0.63	$w = 6, t = 1$	0.577	$w = 12, s = 1, t = 1$	0.57
DS#2	$s = 1, w = 8, t = 2$	0.94	$w = 8, t = 2$	0.94	$w = 8, s = 1, t = 2$	0.84
DS#3	$s = 1, w = 8, t = 1$	0.82	$w = 8, t = 2$	0.81	$w = 6, s = 1, t = 1$	0.83

To be able to explore the effect of the parameter selection for the proposed methods, also the methods RBM, SM, and MDSW were run with different parameter sets. The results for the parameter changes are given in Table 2. Here, it is shown how the outcome score will be affected when at least one parameter is kept constant and the others are changed. For example, for DS1, when the step size (s) and window width (w) keep constant, the changes in the threshold (t) parameter from 1 to 2 result a prominent decrease in the detection score (sc) in RBM. On the other hand, when the results are examined for DS2, the changes of two parameters together, s and w , while the t value keeps constant at $t = 2$, also affects the sc score dramatically, from 0.94 to 0.85. For the SM, the parameters are w and t , and the results are evaluated for the effect of parameter change while a parameter is kept the same. The results show that the selected window width affects the resulting detection score more than the threshold parameter. And finally, when analyzing the MDSW method, it can be observed that increasing the step size results in decreasing the detection score from 0.84 to 0.79 while w and t are constant. The possible reason is being skipped the candidate change points when getting larger the step size. The other observation is that when t keeps the same, decreasing the parameter w and increasing the parameter s do not affect the detection score significantly. Thus, any changes in the w and s parameter should be done in the opposite ways at the same time.

Table 2. Effects of the parameter selection on the detection score results for the datasets DS1, DS2, and DS3.

	RBM		SM		MDSW	
	Parameters	Score (sc)	Parameters	Score (sc)	Parameters	Score (sc)
DS#1	$s = 4, w = 10, t = 1$	0.63	$w = 6, t = 1$	0.577	$w = 12, s = 1, t = 1$	0.57
	$s = 4, w = 10, t = 2$	0.55	$w = 8, t = 1$	0.575	$w = 12, s = 1, t = 2$	0.54
	$s = 1, w = 12, t = 1$	0.57	$w = 6, t = 2$	0.568	$w = 10, s = 1, t = 1$	0.56
DS#2	$s = 4, w = 8, t = 2$	0.94	$w = 8, t = 2$	0.94	$w = 8, s = 1, t = 2$	0.84
	$s = 4, w = 12, t = 2$	0.93	$w = 10, t = 2$	0.84	$w = 8, s = 2, t = 2$	0.79
	$s = 1, w = 10, t = 2$	0.85	$w = 8, t = 1$	0.92	$w = 10, s = 2, t = 1$	0.81
DS#3	$s = 1, w = 8, t = 1$	0.82	$w = 4, t = 1$	0.89	$w = 6, s = 1, t = 1$	0.83
	$s = 1, w = 12, t = 1$	0.75	$w = 8, t = 1$	0.71	$w = 8, s = 1, t = 1$	0.655
	$s = 4, w = 8, t = 2$	0.72	$w = 10, t = 1$	0.61	$w = 6, s = 2, t = 1$	0.653

Since the nature of the problem is highly dependent on fMRI data, this point also constitutes one of the main restrictions for comparing the other methodologies. Accurate comparisons can only be made using signals from the same data set. For the effectiveness of the proposed methods according to the well-known methodologies, in the last step, RBM, SM, and MDSW are compared with the performance of the Bayesian-based sequential change-point detection approach [34]. The dynamic Bayesian algorithm has been implemented and run with the DS1, DS2, and DS3 activation signals. For the Bayesian approach, the parameters are as follows: $\{N = 15, d = 20, k = 0.001\}$ which indicates the maximum number of change points, the minimum distance between adjacent change points, hyperparameter for the prior on the regression coefficient, respectively. For evaluating the results, change points have been chosen as the points whose posterior probability is bigger than the $p > 0.40$ for DS1 and DS3, and $p > 0.80$ for DS2 (here, it has been taken into account the fMRI task design). According to the comparative results shown in Table 3, the proposed methods are slightly over from the Bayesian approach in detection performance for DS2 and DS3. For the DS1, the performance of the Bayesian is not strong as the proposed methods.

Table 3. Comparative results of the methods with Bayesian Method for DS1, DS2, and DS3.

	RBM	SM	MDSW	Bayesian [34]
DS#1	0.63	0.577	0.57	0.44
DS#2	0.94	0.94	0.84	0.934
DS#3	0.82	0.81	0.83	0.826

V. DISCUSSION

The results show that the algorithms can locate activations using the change point detection methods. However, the parameters affect the results and they need to be tuned in accordance with the subjects and the tasks. The most obvious factor is the threshold used for the outlier detection in the resulting vectors. If the threshold increases, the reliability of the points as a change point also increases. However, it reduces the number of detected change points, and hence the activation points which skips some of the subtle activations.

Outlier detection is also affected by the choice of the method. While MAD approach is more robust, it has the same conclusion as having a high threshold value; the reliability increases but some of the activations are lost. Reducing the step size increases, the computation time, albeit not so much for an fMRI experiment, but increases the precision because it is less likely for the method to miss an activation point because of the sliding window. As can be seen from the tables, most of the results have a step size of 1, where the data is continuously checked for change points. The window size, as mentioned earlier, mostly depends on the HRF peak time. This changes from subject to subject, and even from region to region in a single subject.

Among the methods, the regression-based method outperforms the others. However, it is computationally more expensive. The slope computed by the regression is a good measure for detecting the increase in the BOLD signal, pointing the algorithm to the correct instances.

The signals used have already been identified as active by the SPM method, and this begs the question about the necessity of the proposed methods. SPM and other related methods look for signals that are correlated with the fMRI experiment. The time the stimulus given is fixed and an activation is expected then and there. While they can tolerate latencies, they need the structure of the experiment to infer some results. The proposed methods do not need any structure to be given to find the activation points. This can be used in many different scenarios, such as when analyzing resting state data where there is no task to base the structure on, or for detecting when the emotional state of the subject has changed.

Finally, it could be also mentioned about the limitations of the study. Besides the abovementioned points, this study is highly data-driven and parameter-dependent in its nature. Additionally, there are also external affecting factors, such as the complexity of the given fMRI task, detected activation regions according to the task, inter-subject and intra-subject variations etc. All these factors should be considered while applying the methods on a BOLD signal. If fMRI datasets can be sufficiently multiplied and diversified, parameter dependency can be reduced through methods such as deep learning. In this context, it is planned to constitute the future works in this manner for detecting the activation times in BOLD signals.

REFERENCES

- [1] Sargun, D., & Koksall C.E. (2021). "Robust Change Detection via Information Projection," IEEE Journal on Selected Areas in Information Theory, 2(2), 774-784.
- [2] Kass-Hout T.A., Xu, Z., Mc Murray, P., Park, S. Buckeridge, D.L. Brownstein, J.S., Finelli, L., & Groseclose, S.L. (2012). "Application of change point analysis to daily influenza-like illness emergency department visits," J. Am. Med. Inform. Assoc. JAMIA, 19(6), 1075-1081.
- [3] Zhang, N.R., Siegmund, D. O., Ji, H., & Li, J. Z. (2010). "Detecting simultaneous change points in multiple sequences," Biometrika, 97(3), 631-645.
- [4] Feber, A., Guilhamon, P., Lechner, M., Fenton, T., Wilson, G.A., Thirlwell, C., Morris, T. J., Flanagan, A.M., Teschendorff, A.E., Kelly, J.D., & Beck, S. (2014). "Using high-density DNA methylation arrays to profile copy number alterations," *Genome Bio.*, 15(2), R30.
- [5] Ruggieri, E., Herbert, T., Lawrence, K. T., & Lawrence, C. E. (2009). Change point method for detecting regime shifts in paleoclimatic time series: Application to $\delta^{18}\text{O}$ time series of the Plio-Pleistocene, *Paleoceanography*, 24(1), PA1204.
- [6] Gallagher, C., Lund, R. & Robbins, M., (2012). Change point detection in daily precipitation data, *Environmetrics*, 23(5), 407-419.

- [7] Perreault, L., Bernier, J., Bobée, B., & Parent, B. (2000). Bayesian change-point analysis in hydrometeorological time series. Part 1. The normal model revisited, *J. Hydrol.*, 235(3), 221–241
- [8] Mostafa, A. A., & Ghorbal, A. B. (2011). Bayesian and Non-Bayesian Analysis for Random Change Point Problem Using Standard Computer Packages, *Int. J. Math. Arch.*, 2(10), 1963–1979.
- [9] Elliott, R. J., and Siu, T. K. (2014). Filtering and change point estimation for hidden Markov-modulated Poisson processes, *Appl. Math. Lett.*, 28, 66–71
- [10] Gazor, S., Derakhtian, M., & Tadaion, A.A. (2010) Computationally Efficient Maximum Likelihood Estimation and Activity Detection for M-PSK Signals in Unknown Flat Fading Channels, *IEEE Signal Proc. Letters*, 17(10), 871–874.
- [11] Bardet, J.-M., Kengne, W., & Wintenberger, O. (2012). Multiple breaks detection in general causal time series using penalized quasi-likelihood, *Electron. J. Stat.*, 6, 435–477.
- [12] Toms, J. D., & Lesperance, M. L. (2003). Piecewise Regression: A Tool for Identifying Ecological Thresholds, *Ecology*, 84(8), 2034–2041.
- [13] Wu, W. B., Woodroffe, M., & Mentz, G. (2001). Isotonic Regression: Another Look at the Change Point Problem, *Biometrika*, 88(3), 793–804.
- [14] Hu, S., & Zhao, L. (2015). A Support Vector Machine Based Multi-Kernel Method for Change Point Estimation on Control Chart, *IEEE Int'l Conf. on Systems, Man, and Cybernetics*, Hong Kong, China, 492–496.
- [15] Kazemi, M. S., Kazemi, K., Yaghoobi, M. A. & Bazargan, H. (2016). A hybrid method for estimating the process change point using support vector machine and fuzzy statistical clustering, *Appl. Soft Comput.*, (40), 507–516
- [16] Aminikhanghahi, S., & Cook, D. J. (2017). A survey of methods for time series change point detection, *Knowl. Inf. Syst.*, 51(2), 339–367.
- [17] Candemir, C., & Oğuz, K., (2017). A Comparative Study on Parameter Selection and Outlier Removal for Change Point Detection in Time Series, *IEEE European conf. on Elec. Engineering and comp. Sci. (EECS)*, Bern, Switzerland, doi: 10.1109/EECS.2017.48
- [18] Deichmann, R. (2009). Principles of MRI and Functional MRI, in *fMRI Techniques and Protocols*, Humana Press, Totowa, NJ, 3–29.
- [19] Ogawa, S., Lee, T. M., Kay, A. R., & Tank, D. W. (1990). Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 87(24), 9868–9872.
- [20] Handwerker, D. A., Ollinger, J. M., & D'Esposito, M. (2004). Variation of BOLD hemodynamic responses across subjects and brain regions and their effects on statistical analyses, *NeuroImage*, 21(4), 1639–1651.
- [21] Xin L., Yu P.L.H., & Lam K. (2013). An Application of CUSUM Chart on Financial Trading, *9th Int'l Conf. on Computational Intelligence and Security*, 14-15 December, China.
- [22] Callegari C., Pagano M., & Giordano S., (2017). CUSUM-based and entropy-based anomaly detection: An Experimental comparison, *8th Int'l Conference on the Network of the Future*, 22-24 Nov., London
- [23] Polunchenko, A.S., (2018). Optimal Design of the Shiryaev-Roberts Chart: Give Your Shiryaev-Roberts a Headstar, *Frontiers in Statistical Quality Control*, 12, 65-86.
- [24] Pollak, M. & Siegmund, D. (1985). On robustness of the Shiryaev–Roberts change-point detection procedure under parameter misspecification in the post-change distribution, *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 72(2), 2185-2206.
- [25] Wen Y., Wu J., Zhou Q., & Tseng T., (2019). Multiple-Change-Point Modeling and Exact Bayesian Inference of Degradation Signal for Prognostic Improvement, *IEEE Trans. on Auto. Sci and Eng.*, 16(2), 613-628.
- [26] Nath S., Wu J., (2018). Bayesian Quickest Change Point Detection with Multiple Candidates of Post-Change Models, *IEEE Global Conf. on Signal and Information Processing*, 26-29 Nov, Anaheim, USA.
- [27] Geng J., & Lai L., (2013). Bayesian Quickest change point detection and localization in sensor networks, *IEEE Global Conf. on Signal and Information Processing*, 3-5 Dec., Austin TX, USA.
- [28] Adams, R. P., & MacKay, D. J., (2007). Bayesian online change point detection, *ArXivPrepr. ArXiv:0710.3742*.
- [29] Saatçi, Y., Turner, R. D., & Rasmussen, C. E. (2010). Gaussian process change point models, *Proceedings of the 27th Int'l Conf. on Mach. Learn. (ICML-10)*, 10, 927–934.
- [30] Carlin, B. P., Gelfand, A. E., & Smith, A. F. M. (1992). Hierarchical Bayesian Analysis of Changepoint Problems, *J. R. Stat. Soc. Ser. C Appl. Stat.*, 41(2), 389–405.
- [31] Loschi, R. H. & Cruz, F. R. B. (2005). Bayesian identification of multiple change points in poisson data, *Adv. Complex Syst.*, 08(4), 465–482.

- [32] Yao, Y.-C. (1988). Estimating the number of change-points via Schwarz' criterion," *Stat. Probab. Lett.*, 6(3), 181–189.
- [33] Whiteley, N., Andrieu, C. & Doucet, A. (2011). Bayesian computational methods for inference in multiple change-points models, submitted for publication.
- [34] Ruggieri, E., & Antonellis, M. (2016). An exact approach to Bayesian sequential change point detection, *Comput. Stat. Data Anal.*, 97, 71–86.
- [35] Chopin, N. (2007). Dynamic Detection of Change Points in Long Time Series, *Ann. Inst. Stat. Math.*, 59(2), 349–366.
- [36] Barry, D., & Hartigan, J. A., (1993). A Bayesian Analysis for Change Point Problems, *J. Am. Stat. Assoc.*, 88(421), 309–319.
- [37] Hinkley, D. V. (1970). Inference About the Change-Point in a Sequence of Random Variables, *Biometrika*, 57(1), 1–17.
- [38] Hinkley, D. V. (1972). Time-Ordered Classification, *Biometrika*, 59(3), 509–523.
- [39] Joseph, L. & Wolfson, D. B. (1992). Estimation in multi-path change-point problems, *Commun. Stat. - Theory Methods*, 21(4), 897–913.
- [40] Zou, C., Liu, Y., Qin, P., & Wang, Z. (2007). Empirical likelihood ratio test for the change-point problem, *Stat. Probab. Lett.*, 77(4), 374–382.
- [41] Diop M.L., & Kengne W., (2020). Poisson QMLE for change-point detection in general integer-valued series, *arxiv.org*, doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.13858>.
- [42] Bai, J. (2000). Vector autoregressive models with structural changes in regression coefficients and in variance-covariance matrices, *Ann. Econ. Finance*, 1(2), 303-339.
- [43] Geng J., Zhang B., Huie L.M., & Lai L., (2019). Online Change-Point Detection of Linear Regression Models, *IEEE Trans. on Signal Processing*, 67(12), 3316–3329.
- [44] Loschi R., Pontel J.G., & Cruz F.R.B., (2010). Multiple Change -Point Analysis for Linear Regression Models, *Chilean Journal of Statistics*, 1(2), 93-112.
- [45] Brown, R.L., Durbin, J., & Evans, J. M., (1975). Techniques for Testing the Constancy of Regression Relationships over Time, *J. R. Stat. Soc. Ser. B Methodol.*, 37(2), 149–192.
- [46] Bai, J. (1997). Estimation of a Change Point in Multiple Regression Models, *Rev. Econ. Stat.*, 79(4), 551–563.
- [47] Jandhyala, V. K., & MacNeill, I. B. (1991), Tests for parameter changes at unknown times in linear regression models, *J. Stat. Plan. Inference*, 27(3), 291–316.
- [48] Gurevich, G., & Vexler, A. (2005). Change point problems in the model of logistic regression, *J. Stat. Plan. Inference*, 131(2), 313–331.
- [49] Preminger, A., & Wettstein, D. (2005). Using the Penalized Likelihood Method for Model Selection with Nuisance Parameters Present only under the Alternative: An Application to Switching Regression Models, *J. Time Ser. Anal.*, 26(5), 715–741.
- [50] Winkler, S. Affenzeller, M., Kronberger, G., Kommenda, M., Burlacu, B., & Wagner, S. (2015). Sliding Window Symbolic Regression for Detecting Changes of System Dynamics, in *Genetic Programming Theory and Practice XII*, Springer, Cham, 91–107.
- [51] Bandettini, P.A., Jesmanowicz, A., Wong, E. C., & Hyde, J. S. (1993). Processing strategies for time-course data sets in functional mri of the human brain, *Magn. Reson. Med.*, 30(2), 161–173.
- [52] Xiong, J., Gao, J.-H., Lancaster, J. L., & Fox, P. T. (1996). Assessment and optimization of functional MRI analyses, *Hum. Brain Mapp.*, 4(3), 153–167.
- [53] Hossein-Zadeh, G. A., Ardekani, B. A., & Soltanian-Zadeh, H. (2003). Activation detection in fMRI using a maximum energy ratio statistic obtained by adaptive spatial filtering, *IEEE Trans. Med. Img.*, 22(7), 795–805.
- [54] Roche, A., Lahaye, P. J., & Poline, J. B. (2004). Incremental activation detection in fMRI series using Kalman filtering, *2nd IEEE Int'l Symp. on Biomedical Imaging: Nano to Macro (IEEE Cat No. 04EX821)*, Arlington, VA, USA, 1, 376–379.
- [55] M. Singh, J. J. L. Al-Dayeh, Kim, T., & P. Colletti, (1999). Cross-correlation technique to identify activated pixels in a three-condition fMRI task, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 46(3), 520–526.
- [56] Ruttimann, U. E., & Unser M., Rawlings, R.R., Rio, D., Ramsey, N.F., Mattay, V.S., Hommer, D.W., Frank, J.A., Weinberger, D.R. (1998). Statistical analysis of functional MRI data in the wavelet domain, *IEEE Trans. Med. Imaging*, 17(2), 142–154.
- [57] Lai, S.-H. & Fang, M., (1999). A novel local PCA-Based method for detecting activation signals in fMRI, *Magn. Reson. Imaging*, 17(6), 827–836.

- [58] Tzikas, D. G., Likas, A., Galatsanos, N. P., Lukic, A. S. & Wernick, M. N. (2004). Bayesian regression of functional neuroimages, *12th European Signal Proc. Conf.*, Vienna, Austria, 801–804.
- [59] Ferreira da Silva, A. R. (2011). A Bayesian multilevel model for fMRI data analysis, *Comput. Meth. Prog Biomed.*, 102(3), 238–252.
- [60] Akhbari, M., Babaie-Zadeh, M., Fatemizadeh, E. & Jutten, C., (2010). An entropy based method for activation detection of functional MRI data using Independent Component Analysis, *IEEE Int'l Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Dallas, TX, USA, 2014–2017.
- [61] Tang, X., Zeng, W., Shi, Y., & Zhao, L. (2018). Brain activation detection by modified neighborhood one-class SVM on fMRI data, *Biomed. Signal Process. Control*, 39(Supp. C), 448–458.
- [62] Efron, B., Hastie, T., Johnstone, I. & Tibshirani, R. (2004). Least Angle Regression, *Ann. Stat.*, 32(2), 407–499
- [63] Friston, K. J., Jezzard, P. & Turner, R., (1994). Analysis of functional MRI time-series, *Hum. Brain Mapp.*, 1(2), 153–171
- [64] Friston, K. J., Holmes, A.P., Poline, J.B., Grasby, P.J., Williams, S.C., Frackowiak, R.S., & Turner, R. (1995) Analysis of fMRI Time-Series Revisited, *NeuroImage*, 2(1), 45–53
- [65] Robinson, L. F., Wager, T. D., & Lindquist, M. A. (2010). Change point estimation in multi-subject fMRI studies, *NeuroImage*, 49(2), 1581–1592.
- [66] Lindquist, M. A., Waugh, C., & Wager, T. D. (2007). Modeling state-related fMRI activity using change-point theory, *NeuroImage*, 35(3), 1125–1141.
- [67] Barnett, I. & Onnela, J.-P. (2016). Change Point Detection in Correlation Networks, *Sci. Rep.*, 6, 18893.
- [68] Gorgolewski, K. J., Storkey, A., Bastin, M.E., Whittle, I.R., Wardlaw, J.M., & Pernet, C.R. (2013). A test-retest fMRI dataset for motor, language and spatial attention functions, *GigaScience*, 2(1), 6
- [69] Friston, K. J., Frith, C. D., Frackowiak, R. S. J. & Turner, R., (1995). Characterizing Dynamic Brain Responses with fMRI: A Multivariate Approach, *NeuroImage*, 2(2 Part A): 166–172.
- [70] Collignon, A., Maes, F., Delaere, D., Vandermeulen, D., Suetens, P. & Marchal, G., (2015). Automated multi-modality image registration based on information theory, *Compt. Imag. and Vis.*, 3, 263–274.
- [71] Evans, A. C., Collins, D. L., Mills, S. R., Brown, E. D., Kelly, R.L. & Peters, T. M. (1993). 3D statistical neuroanatomical models from 305 MRI volumes, *IEEE Nucl. Sci. Symp. and Med. Imag. Conf.*, San Francisco, CA, USA, 3, 813–1817.
- [72] Ebner, N. C., Riediger, M., & Lindenberger, U., (2010). FACES--a database of facial expressions in young, middle-aged, and older women and men: development and validation, *Behav. Res. Methods*, 42(1), 351–362.
- [73] Grubbs, F. E., (1969). Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples, *Technometrics*, 11(1), 1–21.
- [74] Candemir, C., (2018). Change Point Estimation in Multi Subject Social Support fMRI Studies, PhD Thesis, Int'l Computer Institute, Ege University, Izmir, Turkey.

Araştırma Makalesi – Research Article

Yapı Bilgi Modellemesi'nin Türkiye için Uygulanabilirliğinin Araştırılması

Investigation of Application of Building Information Modeling for Turkey

Gözde Şahinkaya¹, Faik Ahmet Sesli², Varol Koç³, Ömer Faruk Uzun^{4*}

Geliş / Received: 07/04/2022

Revize / Revised: 13/06/2022

Kabul / Accepted: 13/06/2022

ÖZ

Her geçen gün daha karmaşık hale gelen yapıların, her anlamda verimli bir şekilde inşa edilebilmeleri, teknoloji den faydalanma derecesiyle yakından ilgilidir. Her türlü ön çalışma ve analizlerin yapılabilmesine olanak sağlamak suretiyle bina tasarımlarını sürdürülebilir, sağlıklı ve düşük maliyetlerle projelendirebilen Yapı Bilgi Modelleme (YBM) sisteminin kullanımı bu anlamda önemlidir. Bu anket çalışması ile YBM'nin sektör çalışanları tarafından bilinirliği, sağlayabileceği avantajların farkındalığı, daha yaygın kullanımının sağlanmasında engel olarak görülen hususları ve bu hususların giderilmesi noktasındaki düşüncelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmadan elde edilen verilere göre YBM sistemi, ülkemizde henüz yeterince bilinmemekte (%50) ve kullanılmamaktadır (%67). Çalışmaya katılanların %70'i ise YBM sisteminin nasıl kullanıldığını bilmemektedir. YBM sisteminin farkındalığı ve kullanımı henüz emekleme safhasındadır. Diğer yandan YBM sisteminin sektöre katkı sağlayabileceği fikrinin katılımcılarca büyük oranda kabul görmesi, ilerleyen zamanlarda sistemin daha fazla kullanılacağı şeklinde yorumlanabilir. Ankete katılanların %41'i YBM'nin proje maliyetlerini kesinlikle azaltacağı ve %31'i de azaltacağı fikrindedir. YBM ile inşaat aşamasından önce olası problemlerin tespitinin yapılabilmesi fikri, katılımcılar tarafından %58 oranında destek bulmuştur. YBM sisteminin kullanımının yaygınlaştırılmasında en büyük katkının devlet tarafından verilebileceği görüşü %61, sektördeki rekabet baskısının kullanımı yaygınlaştıracağı fikri ise %41 oranla kabul görmüştür. Büyük ölçüde kabul gördüğü üzere, sistem hakkında eğitim imkânlarının geliştirilmesi faydalı olabilecektir. Akademik çalışmalar ve tecrübeli olan kişi veya kurumlardan YBM'e geçiş konusunda destek alınabilir. YBM kullanımına geçişin gecikmesindeki en önemli sebeplerden biri olarak görülen yasal düzenlemelerin yapılması da bu anlamda faydalı olacaktır.

Anahtar Kelimeler- Bilgisayar Destekli Tasarım, İnşaat Verimlilik İndeksi, Proje Yönetimi, 3 Boyutlu Modelleme, Yapı Sektörü

ABSTRACT

The efficient construction of buildings, which are becoming more complex day by day, is closely related to the degree of benefiting from technology. For this reason, it is important to use the Building Information Modeling (BIM) system, which can project building designs in a sustainable, healthy, and low cost by allowing all kinds of

¹İletişim: gozdesahinkayaa@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-8792-9944>)

Devlet Su İşleri 102. Bölge Müdürlüğü, Mardin, Türkiye

²İletişim: fasesli@omu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-8352-734X>)

Harita Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye

³İletişim: kvarol@omu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-4810-3845>)

İnşaat Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye

^{4*}Sorumlu yazar iletişim: ofuzun@sinop.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-0391-4495>)

Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü (Harita ve Kadastro), Boyabat MYO, Sinop Üniversitesi, Sinop, Türkiye

preliminary studies and analyses to be made. With the study, it was aimed to determine the awareness of BIM by the sector employees, the advantages it can provide in construction works, the issues that are seen as obstacles in ensuring its more widespread use, and their thoughts on eliminating these issues. According to the data obtained from the study, the BIM system is not known enough (50%) and is not used (67%) in our country yet. 70% of the respondents do not know how to use the BIM system. The awareness and use of the BIM system is still in its beginner level. On the other hand, the fact that the idea that the BIM system can contribute to the sector is widely accepted by the participants can be interpreted as the system will be used more in the future. 41% of the respondents stated that BIM will definitely reduce their project costs and will reduce it by 31%. The idea that the problem could be determined before the construction phase with BIM was supported by 58% of the participants. The opinion that the biggest contribution to the dissemination of the use of the BIM system can be made by the state was approved by 61%, while the idea that the competitive pressure in the sector would expand the use was approved by 41%. As it is widely accepted, it would be beneficial to improve educational opportunities about the system. Support can be obtained from academic studies and experienced people or institutions in transitioning to YBM. It will also be beneficial to make legal arrangements, which is seen as one of the most important reasons for the delay in the transition to the use of BIM.

Keywords- *Computer Aided Design, Construction Efficiency Index, Project Management, 3D Modelling, Construction Industry*

İ.GİRİŞ

Günümüz insanların yapılardan beklentilerinin giderek artması ve buna bağlı olarak gittikçe daha karmaşık hale gelen yapıların her anlamda verimli bir şekilde inşa edilmeleri, geleneksel inşaat projeleri ile her geçen gün daha da zorlaşmaktadır [1,2]. Halihazırda hazırlanan inşaat projelerine; enerji analizleri, yalıtım, otopark, çevre düzenlemeleri gibi unsurların da dahil edilmeleri gerekmektedir. Çok kapsamlı bir çalışmaya ihtiyaç duyulan bu noktada, ihtiyaçları tam olarak karşılayamayan CAD (Computer Aided Drawing) yazılımlarının yerine, her türlü ön çalışma ve analizlerin yapılabilmesine olanak sağlamak suretiyle yüksek performanslı bina tasarımlarını sürdürülebilir, sağlıklı ve düşük maliyetler ile projelendirebilen Yapı Bilgi Modelleme (YBM) sistemi öne çıkmaktadır.

Yapılacak yapının öncelikle bilgisayar ortamında inşa edilip en ekonomik ve işlevsel yapı tasarımının belirlenmesine imkân sağlayan YBM, görselleştirme, koordinasyon, prefabrikasyon, planlama, düşük hata toleransı ve işbirliği sağlama gibi pek çok avantajlara sahiptir. Bütün bunlara ek olarak iklimsel ve meteorolojik veriler, bina enerji sarfiyatı, ışıklanma, termal ışınlama, rüzgâr ve hava akımı gibi faktörlerin analizine imkân sağlayarak projenin tasarım aşamasında en doğru kararların alınmasını sağlayabilmektedir [3-5].

YBM, tüm proje paydaşlarının bir arada çalışabilmesine de imkân sağlayıp, çok boyutlu tasarım ile görsel sunum gerçekleştirmeye imkân sağlayabilmesi, hazırlanan projeye tüm boyutlarıyla hâkimiyet sağlanmasına da olanak sağlamaktadır [6-9]. Bina ile ilgili tüm tasarımsal (geometri/biçim vb.) ve sayısal (malzeme, maliyet, fiziksel çevre kontrolü vb.) veriden oluşan 3 boyutlu bir model meydana getirerek, hazırlanan projeye tüm verilerin işlendiği, analizlerin yapıldığı ve paydaşlar tarafından binanın yaşam döngüsü boyunca ortak kullanım sağlayan bir çalışma sistemidir [9-10].

Başarı için birlikte çalışmanın çok önemli olduğu inşaat sektöründe, çeşitli yazılım ve donanımların beraber kullanılmasıyla, proje ürünlerinin üç boyutlu olarak oluşturulduğu, proje katılımcıları arasındaki iş birliğini destekleyen, bilgi paylaşımını sağlayan, etkin kullanılmasının sağladığı iş birliği sayesinde süreç içerisindeki hata oranını azaltan, zaman ve maliyet açısından fayda sağlayan YBM, yapının fikir aşamasından yıkım aşamasına kadar bütün süreç boyunca kontrolünü sağlayarak iş verimliliğini yükseltmektedir [8,11,12].

Yapı Bilgi Modellemesini, günümüzde sadece işi kolaylaştıran bir sistem olarak görmek yeterli değildir. YBM süreci büyük çaplı projelerde artık bir ihtiyaç haline gelmiştir. Hatta İngiltere’de, ABD’de ve bazı kuzey Avrupa ülkelerinde kamu binalarında zorunlu hale getirilmiştir [13,14]. Ülkemizde özellikle büyük kamu projelerinde ve sözleşmelerinde yer alan maddeler gereğince adı geçen YBM kavramı, uluslararası standartlara uygunluğun sağlanması için kullanılmaktadır [9,15]. Bazı sözleşmelerde kullanımı zorunlu hale getirilen YBM konusundaki çalışmaların artacağı öngörüsü ile firmaların YBM’ye geçiş için hazırlıkları söz konusudur. Ancak ülkemizde belirli yasal altyapı, dokümanlar ve standartlar mevcut olmadığından dolayı, beklenen gelişim tam

anlamıyla sağlanamamaktadır. YBM'nin daha fazla kullanılması için devlet desteğinin sağlanması ve yasal mevzuatların hazırlanmış olması faydalı olacaktır.

Bu anket çalışması ile YBM'nin sektör çalışanları tarafından bilinirliği, sağlayabileceği avantajların farkındalığı, daha yaygın kullanımının sağlanmasında engel olarak görülen hususlar ve bu hususların giderilmesi noktasındaki düşüncelerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışma, bir anket çalışması olup YBM'nin mevcut ve gelecekteki durumu hakkında sorular sorulmuş ve elde edilen veriler analiz edilmiştir. Anket çalışması için sorular hazırlanırken konu hakkındaki literatürler ve YBM hakkında daha önceden anket çalışması yapan araştırmacıların çalışmalarından yararlanılmıştır [5,16]. Anket çalışması bağlamında katılımcılardan bilgilendirilmiş onam ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi Etik Kurulu'ndan "Etik Kurul Onayı" alınmıştır.

A. Anket Sorularının Hazırlanması ve Katılımcılara İletilmesi

Google formlar menüsü kullanılarak hazırlanan anket formu, kamu ve özel sektör çalışanlarına e-posta ile dağıtılıp katılımları sağlanmıştır. Anket çalışmasının açıklama kısmında anketin hangi amaçla kullanılacağı ve YBM hakkında hangi konularda bilgi sahibi olunmak istendiği belirtilmiştir. Anket çalışması yapılırken katılımcıların konu ile ilgili soruları cevaplanmıştır. Böylelikle anket çalışmasına katılan ancak YBM hakkında fikir sahibi olmayan katılımcıların belli oranlarda bilgilendirilmesi de sağlanmıştır.

Anket çalışmasında aşağıda verilen bölümler halinde gruplandırılan ve toplamda 28 çoktan seçmeli soru sorulmuştur.

1. Genel bilgiler: Cinsiyet, meslek grubu, tecrübe yılları, eğitim seviyesi, çalışılan sektör, ağırlıklı olarak çalışılan sektör gibi katılımcılara kişisel ve çalıştıkları sektöre ait genel sorular sorulmuştur.

2. YBM hakkında genel değerlendirme: YBM hakkında temel bilgi soruları sorularak katılımcıların bilgi seviyeleri ölçülmüştür. Bunun için; YBM hakkında bilgi sahibi olunup olunmadığı, YBM'nin avantajları ve dezavantajlarının bilinip bilinmediği, YBM uygulaması yapılan projelerinin olup olmadığı, YBM'nin bir program mı yoksa süreç mi olduğu, YBM'nin boyutlarının bilinip bilinmediğini ölçmeye yönelik sorular sorulmuştur.

3. YBM'nin kullanılabilirliği hakkında değerlendirme: Bu bölüm kapsamında hazırlanan sorular, YBM'nin ülkemizde uygulanabilirliği konusunda katılımcıların düşüncelerini öğrenmeye yöneliktir. YBM'nin ilerleyen zamanlarda kullanım yüzdesinin ne olabileceği konusundaki fikirler derlenmiştir. Ülkemizde 10 yıl sonra YBM'nin projelerde kullanıma yüzdesinin tahmini için % 0-100 aralığında dört seçenek sunulmuştur.

4. YBM'nin kullanımının yaygınlaşması hakkında değerlendirme: Bu bölümde YBM kullanımının yaygınlaşmasının sonuçlarına yönelik sorular hazırlanmıştır. Proje teslimi, proje kontrolü, iş tekrarı, maliyet, iş birliği, yapılacak hataların önceden tespit edilmesi, çevreyle dost yapıların sayılarındaki değişim hakkında katılımcıların görüşleri alınmıştır.

5. YBM'ye geçişi kolaylaştırıcı faktörler hakkında değerlendirme: YBM'ye geçişi kolaylaştırıcı bazı faktörler belirlenip, katılımcılara bu faktörler hakkındaki düşünceleri sorulmuştur. Devlet desteğinin sağlanması, örnek iş akışı olması, uygun veri tabanının olması, kullanılacak yazılımların tanıtımının yapılması, müşteri taleplerinin yaygınlaşması gibi unsurların YBM'ye geçişi kolaylaştırması hususunda katılımcıların düşünceleri derlenmiştir.

6. YBM'ye geçişin gecikmesi hakkında değerlendirme: YBM'ye geçişin gecikme sebepleri hakkında bazı faktörler belirlenmiş ve katılımcılara düşünceleri sorulmuştur. Talep eksikliğinin olması, YBM'nin faydalarının tam olarak anlaşılabilmesi, yasal dayanak ve YBM'ye geçişi sağlayacak eğitilmiş insan kaynağı eksikliğinin yaşanması gibi hususlar hakkında katılımcıların düşünceleri tespit edilmiştir.

B. Ankete Katılan Kişilerin Bilgileri

Hedef kitle belirlenirken anket çalışmasının yapılacağı kurumlardan ve firmalardan çalışmaya katılabilecek teknik personel sayıları istenmiştir. Belirlenen kurum ve şirketlerden alınan bilgilere göre katılımcı sayısı 280 kişi olarak belirlenmiştir. Katılımcıların ikamet ettikleri iller; İstanbul, Ankara, İzmir, Konya, Eskişehir, Samsun, Ordu, Mardin, Diyarbakır ve Şanlıurfa'dır. Örneklem grubu; Üniversiteler, Devlet Su İşleri, Tapu ve Kadastro Müdürlüğü, Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlükleri ile Harita Genel Komutanlığı gibi kamu kurumları ve 3. Havalimanı Raylı Hatlar Projesi çalışanları, Bold Mimarlık, Kalyon İnşaat, ENKA, Prota Mühendislik, harita ve inşaat mühendisliği bürolarından seçilen çoğunluğu mühendis ve mimarlardan oluşan teknik personellerden oluşmuştur.

C. Örneklem Büyüklüğünün Hesaplanması

Örneklem büyüklüğünün hesabında sonuçların doğru ve güvenilir bir şekilde elde edilmesi için "Güç analizi" yönteminden yararlanılmış, evreni bilinen örneklem yöntemi için aşağıdaki formül kullanılmıştır (1);

$$n = \frac{Nt^2pq}{d^2(N-1)+t^2pq} \quad (1)$$

N = Evrendeki birey sayısı

n = Örneklem alınacak birey sayısı

p = İncelenen olayın görülme sıklığı (olasılığı)

q = İncelenen olayın görülmemiş sıklığı ($1-p$)

t = t tablosunda bulunan teorik değer (1.96)

d = Olayın görülme sıklığına göre yapılmak istenen + sapma olarak simgelenmiştir (0.05).

$$n = \frac{280 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2(280 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} \cong 162$$

Güç analizi sonucunda hedef kitle olarak seçilen 280 katılımcı içerisinde %95 güven, 0.05 kabul edilebilir hata payına göre toplamda 162 kişi ile görüşülmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

10.09.2019 ile 20.11.2019 tarihleri arasında yapılan anket çalışmasına geri dönüş yapan katılımcı sayısı 100 kişidir. Yapılan anket sonuçlarına göre %90 güven, %10 kabul edilebilir hata payına göre yeniden hesaplama yapılmış ve 100 anketin güvenilir ve doğru sonuç vereceği görülmüştür.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. Ankete Katılanların Genel Bilgiler

Kişisel ve iş deneyimleri hakkında sorular sorulan katılımcıların %61'ini mühendisler, %21'ini mimarlar ve geri kalan %18'ini de akademisyen, yönetici ve müteahhitler oluşturmuştur. Katılımcıların %56'sı erkek, %44'ü kadın, %57'si özel ve %43'ü kamu sektöründe çalışmaktadır. Eğitim seviyesi olarak %71 oranında lisans, %22 yüksek lisans, %3 doktora ve %4'de diğer eğitim seviyelerine sahip olan katılımcıların; %39'u diğer kamu ve %4'ü üniversite olmak üzere toplamda %43 oranında kamu kurumlarına hizmet vermektedir. Kalan %57'lik oranı ise sırasıyla %18 belirlenen iş alanlarının dışında çalışanlar, %17 yüklenici firma çalışanı, %16 mimarlık firması çalışanı ve %6 yatırım şirketinde çalışan katılımcılar oluşturmuşlardır.

Ankete katılan kişilerden iş tecrübeleri 0-5 yıl arasında olanlar %51; 5-10 yıl arasında olanlar %28; 10-15 yıl arasında olanlar %10, 15 yıldan fazla olanlar ise %11'lik orana sahiptir. Katılımcılara çoğunlukla çalıştıkları proje sektörü sorulduğunda ise; katılımcıların %51'i kamu, %23'ü belirlenen seçeneklerin dışındaki projeler, %13'ü konut, %9'u ticari ve %4'ü ise endüstriyel projelerde yer aldıklarını belirtmişlerdir.

B. YBM Hakkında Genel Bilgi Seviyesinin Belirlenmesi

YBM hakkındaki bilgi düzeylerinin ölçüldüğü bu bölümde katılımcıların %50'si YBM hakkında bilgi sahibi olduğu, diğer %50'si ise olmadığını belirtmiştir.

YBM'yi kullanıp kullanmadıkları sorusuna verilen cevapların dağılımı %67 kullanmadığı, %18 kullandığı, %12 kullanılması planlanan projeleri olduğu ve %3 ise diğer şeklindedir.

Bu bulgulardan anlaşılacağı üzere YBM sisteminin ülkemizdeki kullanımının başlangıç düzeyinde olduğu anlaşılmaktadır. YBM hakkında genel bilgi ağına sahip olursa bile, detaylı olarak YBM hakkında bilgi sahibi olunmadığı görülmektedir. Diğer yandan YBM konusunda bilgi sahibi olanların oranı, ilerleyen zamanlarda YBM'nin yaygınlaşacağına göstergesi olarak kabul edilebilir.

YBM'nin tanımı için katılımcıların %60'ı, yapının sürdürülebilirliğini sağlayan ve yapının tüm aşamalarında yer alan bir süreç olduğunu düşünmektedir.

Katılımcıların %18'i YBM'nin çok boyutlu, %16'sı üç boyutlu çizim yapan, %4'ü maliyet hesabı yapan ve %2'lik kısım ise iş programı düzenleyen bir program olduğunu düşünmektedir. YBM aslında bu tanımların hepsini içinde barındırmaktadır. Ancak ülkemizde YBM bütün olarak kullanılmadığından her kullanıcı için farklı tanımlanmaktadır.

YBM'nin nasıl kullanılacağına bilinip bilinmediği sorusuna katılımcıların %70'i bilmediği, %18'i bildiği ve %12'si ise eğitim aldığı şeklinde cevap verdikleri görülmektedir.

YBM'nin avantajlarının bilinip bilinmemesiyle alakalı soruya katılımcıların %58'i bilmediği %42'si ise haberdar olduğunu söylemektedir. Katılımcıların verdiği cevaplara göre YBM'nin dezavantajlarının %67 oranında bilinmediği, %33 oranında ise bilgi sahibi olduğu görülmektedir. Bu verilere göre YBM hakkında kapsamlı bilgiye sahip olan kitlenin azınlıkta olduğu söylenebilir.

YBM'nin bir süreç mi yoksa bir program mı olduğuyla alakalı soruya YBM'nin bir süreç olduğunu düşünen katılımcıların oranı %83 iken, süreç olmadığını düşünen katılımcıların oranı ise %17'dir. YBM'nin bir program olduğunu düşünen katılımcıların oranı %58 iken, %42'si bir program olmadığını düşünmektedir.

YBM projenin tüm aşamalarında bulunan bir süreçtir. Üç boyutlu tasarım yapıldığı veya karşılaştırma analizlerinin uygulanabilirliği için programlar kullanıldığından bir program gibi de düşünülmektedir. Ancak YBM sadece bir program olmayıp yapının tasarımdan başlayıp yapının tesliminden sonra bile ömrünü sürdüren geniş yelpazeli bir modelledir.

Projelerde kullanımı ile ilgili soruya, katılımcıların büyük çoğunluğu (%67) YBM'i projelerinde henüz kullanmadığını belirtmiştir. YBM'i üç boyutlu yani görselleştirme için kullanan katılımcıların oranı ise %18'dir. Katılımcıların %14'ü sürdürülebilir proje planlaması, %11'i maliyet çalışması, %10'u iş programı düzenleme, %7'si fizibilite çalışması, %4'ü çakışma analizi ve %1'i ise şantiye planlaması için YBM'i kullanmaktadır.

Ülkemizde uygulanan projelerde çoğunlukla üç boyutlu tasarım, maliyet çalışmaları ve iş programı düzenleme amacıyla YBM'in kullanıldığı bilinmektedir [17].

YBM'nin boyutlarının bilinip bilinmediği sorusuna katılımcıların %62'si bilgi sahibi olmadığı, %38'i ise bilgi sahibi olduğu yönünde cevaplamıştır.

YBM'nin boyutlarının bilinmesi kullanımı konusuna katkı sağlayacaktır. Proje planlamalarının bu bilgiler doğrultusunda yapılması iş yükünü azaltabilecektir.

C. YBM'nin Kullanılabilirliği Hakkında Değerlendirme

YBM'nin aktif olarak kullanılabilirliğini etkileyen bazı faktörlerin sorularda verilerek, aktif olarak kullanımı etkileyen en önemli faktörün belirlendiği bu bölümde; katılımcıların %29'u farkındalık eksikliğini işaret etmişlerdir.

Kişiler, firmalar veya proje paydaşları YBM'nin projelerde ne için, hangi amaçla ve kullanıldığında ne gibi sonuçlar sunacağını bilmediği yeni bir çalışma yöntemi için çaba harcamakta, geleneksel yöntemlerin kullanımına devam etmektedir. Bu noktada YBM konusunda bilgilendirme platformları oluşturularak farkındalık oluşturulması faydalı olacaktır.

BM'yi aktif kullanmayı etkileyen diğer önemli etkenin, devlet desteğinin sağlanmamış olmasından kaynaklı olduğunu düşünen katılımcıların oranı %28'dir. Devletin projeler için yatırım desteği sağlaması YBM kullanım oranını artıracaktır. Devlet desteğinin sağlandığı projelere, yatırımcıların bakış açısı da önemli oranda değişebilecektir. Bu soruya katılımcıların %26'sı eğitim eksikliği, %12'si YBM ile proje yapımına olan talep eksikliği, %5'i ise kullanılacak olan yazılımların yüksek maliyetinin YBM'nin aktif olarak kullanılmasını etkilediği yönünde yanıt vermişlerdir.

Uygulanabilirliği hakkındaki düşünceleri sorulan katılımcıların % 54'ü, YBM'nin uygulanabileceğini ancak bunun için zaman gerektiğini, % 23'ü ise seçeneklerin dışında bir düşüncede olduklarını belirtmişlerdir. Katılımcıların % 12'si öncelikle kamu projelerinde, % 9'u tüm projelerde uygulanabileceğini ve % 2'si ise ülkemizde uygulanamayacağını düşünmektedir.

Sorulan soruya verilen cevaplardan da anlaşılacağı üzere zaman içerisinde YBM'nin kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmekle birlikte, bu zaman kavramının nasıl değerlendirilmesi gerektiği oldukça önemlidir. Yasal dayanaklar oluşturulması, eğitimler verilmesi, adaptasyon kursları gibi faaliyetlerle YBM'nin uygulanabilirliğinin artırılması çalışmalarının faydalı olacağı söylenebilir [18]. YBM'nin uygulanabilirliği hakkındaki soruya verilen yanıtlarda "uygulanamaz" yönündeki cevapların az olması gelecek adına umut vadetmektedir.

Anket çalışmasında ülkemizde 10 yıl sonra YBM'nin projelerde kullanılma yüzdesi için % 0-100 aralığında dört seçenek sunulmuştur. Katılımcıların % 40'ı ülkemizde 10 yıl sonra YBM'nin kullanılma yüzdesinin % 0-25 aralığında olacağını düşünmektedir. Katılımcıların % 38'i % 25-50, % 21'i % 50-75 ve % 1'i ise % 75-100 aralığında kullanılacağını öngörmektedir.

"Türkiye'de proje yönetimi konusunda YBM en etkili yöntemdir" şeklinde yapılan yoruma katılımcıların fikirleri sorulmuştur. Katılımcıların %36'sı Türkiye'de YBM'nin proje yönetimi konusunda en etkili yöntem olduğunu, %34'ü ise olmadığını düşünmektedir. Katılımcıların %30'u ise konuyu yorumsuz bırakmışlardır.

YBM'e aktif olarak geçiş için gerekli süre ihtiyacının 10 yıldan daha fazla olduğunu öngören katılımcı oranı %45, 5-10 yıl diyenler %43, 0-5 yılı telaffuz edenler ise %12'dir.

Ülkemizdeki projelerde YBM kullanım yüzdesinin ne kadar olduğu hakkındaki tahminleri sorulan katılımcıların; %62'si %0-10, %33'ü %10-30, %4'ü %30-50 ve %1'i ise %70-90 aralığını işaret etmişlerdir.

Ülkemizde YBM'nin kullanıldığı kamu projelerinin olup olmadığı hakkında sorulan soruya; katılımcıların %53'ü "olduğunu", %7'si "olmadığını" söylerken, %40'ının ise herhangi bir fikirleri olmadığı görülmüştür. Gerçekte ülkemizde YBM'nin kullanıldığı metro projeleri, havalimanı projesi, konut projeleri, alışveriş merkezi, ticaret merkezleri ve sağlık kampüsleri gibi yapılan büyük kamu projeleri mevcuttur.

Çok aşamalı bir süreci kapsayan proje yapım aşamalarının her biri için hazırlanması gereken bilgi altlığı mevcuttur. YBM çok boyutlu bir modellemeye sahip olduğu için anket çalışmasında katılımcılara YBM'nin projelerde kullanımıyla hangi aşamaya daha çok katkı sağlayacağı yönünde soru hazırlanmıştır. Soruda projenin yapım aşamaları; tasarım öncesi, tasarım, inşaat aşaması ve inşaat sonrası olarak sınıflanmıştır. Katılımcıların % 54'ü projenin tasarım aşamasına, %31'i tasarım öncesi, % 12'si inşaat aşaması ve % 3'ü ise inşaat sonrasındaki kullanıma daha çok katkı sağlayacağını düşünmektedir.

YBM projelerde kullanıldığında, proje yapımındaki tüm aşamalara katkı sağlayacaktır. Tasarım aşamasında modelin detayları kapsamlı olarak planlanmakta ileride yaşanabilecek tüm problemler değerlendirilip ona göre önlem alınmaktadır. İlk aşamada uzun ve maliyetli gibi görünse de, projenin tüm yapım süreci değerlendirildiğinde sahada yaşanacak problemlerin önüne geçildiği için, zaman ve maliyet tasarrufu sağlanacaktır. Ülkemizde şu an, raylı sistem hatlarının yapım ihalesi aşamasında YBM ile proje yapımının zorunlu kılınması gerektiği düşünülmektedir. Bu çalışmalar sürekli hale dönüştüğünde YBM kullanımında önemli bir adım atılmış olacaktır.

D. YBM Kullanımının Yaygınlaşması Hakkında Değerlendirme

YBM kullanımının yaygınlaşması bazı avantaj ve dezavantajları da beraberinde getirecektir. Bu sebeple katılımcıların YBM kullanımının yaygınlaşmasının neticeleri hakkındaki öngörülerini de belirlenmeye çalışılmıştır.

YBM'nin projelerde aktif olarak kullanılmasının proje kontrollerini kolaylaştırıcı yönde etkisi olacağına kesinlikle katıldıklarını ifade edenlerin oranı %61 olmuştur. YBM, tasarım aşamasından başlayarak yapılan testlerle kontrol mekanizması sağlamakta ve yapılan testlerin sonuçları rapor olarak sunulduğundan kontrollerde büyük kolaylık sağlamaktadır.

YBM ile yapılan projelerin, proje teslim süresine katkı sağlayacağı yönündeki soruya katılımcıların % 48 "katılmakta", % 43'ü ise "kesinlikle katılmaktadır". YBM ile yapılan projeler iş programına göre yapıldığı için projenin teslim süresi bellidir. Ancak klasik yöntemler ile yapılan çalışmalarda sahada karşılaşılan olumsuzluklardan dolayı proje teslim süresinde aksaklıklar oluşmaktadır. YBM, saha çalışmalarında yapılacak

olası hataları inşa aşamasından önce öngördüğü için proje teslim süresinin zamanında yapılmasına katkı sağlayacaktır.

YBM'nin projelerde aktif olarak kullanıldığında iş tekrarını azaltacağı yönündeki düşünceye % 46 oranındaki katılımcı "kesinlikle katılmakta", % 44 ise "katılmaktadır". Projenin tasarım aşamasında çeşitli analizler yapıldığından dolayı olası sorunlar tasarım aşamasında defalarca test edilmekte ve çözüme kavuşturulmaktadır. Bu durum projenin diğer aşamalarında çalışmaların iş programına uygun şekilde ilerlemesini sağlayacağından iş tekrarının önüne geçilebilmektedir.

YBM kullanımı proje paydaşları arasındaki iş birliği sorununa çözüm olacağı yönündeki yoruma; % 43 "kesinlikle katılmış", % 35 ise "katılmıştır. YBM, proje paydaşlarının iş birliği içinde çalışmasını, projenin her aşamasından proje paydaşlarının haberdar olmasını ve uzmanlık alanlarına göre müdahalede bulunmasını öngörmektedir. Bu tarz modelleme yapmayı öngören düşünce sisteminin proje paydaşları arasındaki iş birliğini sağlaması yönünde uzun vadede katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

YBM kullanımı projelerin maliyetlerini azaltacağı yönündeki fikre katılımcıların % 41'i kesinlikle katılmakta, % 31'i katılmaktadır.

Günümüzde ve gelecekteki yapı planlamalarında, çevreyle dost yapıların inşası yönünde çalışmalar yapılmaktadır. YBM'nin çevreyle dost yapıların sayısını artıracığı yönündeki yoruma % 52 kesinlikle katıldığı yönünde düşüncelerini bildirmiştir. İnşaat aşamasında karşılaşılabilecek problemlerin daha önce tespit edilmesi yönündeki soruya % 58 kesinlikle katılmıştır.

YBM'nin sağlayacağı en büyük katılardan biri yapının inşaat aşamasından önce sanal olarak inşa edilmesidir. Yani yapı adeta iki kere inşa edilmektedir. Bu durum yapının inşaat aşamasından önce en doğru bir şekilde projelendirilmesine katkı sağlayacaktır.

E.YBM'yeGeçiş Kolaylaştırıcı Faktörler Hakkında Değerlendirme

YBM'e geçişi kolaylaştırıcı faktörler hakkında anket katılımcılarına "kesinlikle katılıyorum", "katılıyorum", "nötr", "katılmıyorum" ve "kesinlikle katılmıyorum" şeklinde seçenekler sunulmuştur. Devlet desteğinin sağlanması yönündeki seçeneğe % 61 ile kesinlikle katılıyorum yönünde bildirimde bulunulmuştur.

Uygun veri tabanının oluşturulmasının YBM'ye geçişi kolaylaştıracağı yorumuna; katılımcıların % 54'ü "kesinlikle katılmakta", % 36'sı ise "katılmaktadır". Proje yapımından bitimine kadar birçok kurumla veya özel firmayla çalışmalar yapılmaktadır. Ancak standart bir veri altyapısı oluşturulamamakta ve bilgi kirliliği oluşmaktadır. Sadece YBM'ye geçişin kolaylaştırılmasından ziyade standart veri altyapısının oluşturulması, projeler ve proje paydaşları için kurtarıcı özellik taşıyacaktır.

Düzenli olarak eğitimlerin verilmesinin YBM'e geçişi kolaylaştırıcı etkenlerden biri olacağı düşüncesine katılımcıların % 55'i kesinlikle katılmaktadır. Yeni oluşturulan proje sistemi için hem adaptasyon, hem de geçiş aşamasının kolaylaşması için sürekli eğitimler, seminerler ve uygulamalı eğitimler verilmesi faydalı olacaktır.

Müşteri taleplerinin YBM kullanımının yaygınlaşmasında önemli etken olduğu yönünde hazırlanan soruya ise katılımcıların % 45'inin kesinlikle katıldığı görülmektedir. Arz - talep dengesi, YBM kullanımının yaygınlaşmasını etkileyen bir faktördür.

YBM'nin kullanımının yaygınlaşması için sunulan seçeneklerden birisi de rekabet baskısının kullanımı yaygınlaştıracağı yönündedir. Bu yoruma katılımcıların % 41'i katılmaktadır. Firmaların başarılı ve faydalı projeler üretmesiyle inşaat sektöründe rekabet artacaktır. Bu da YBM ile yapılan projelerin artmasına katkı sağlayabilecektir.

YBM'e geçiş için gerekli olan yazılımların tanıtımlarının yapılması YBM'ye geçişi kolaylaştıracağı yönündeki ifadeye % 47 ile katılımcılar kesinlikle katılmış, % 43'ü ise katılmıştır. YBM kavramının yapı sektörüne katılımıyla birlikte birçok yazılım şirketi yazılımlar geliştirmiştir [19]. BIM çalışmalarında başarılı olunabilmesi için projeye ve kullanıcılara uygun yazılımın seçilmesi oldukça önemlidir [20-22].

Örnek bir iş akışının oluşturulmasının YBM kullanımını yaygınlaştıracağı yorumuna katılımcıların % 61'i kesinlikle katılmış, % 27'si ise katılmıştır. Kullanıcıların önlerinde örnek bir iş akışı olması, önyargıların yıkılmasına ve kullanımının yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır. Proje yapılırken izlenecek adımların belli olması, firmaların YBM'ye geçiş sürecini kolaylaştıracaktır. Dezavantajı ise her projenin kendine has özellikleri

neniyle her projenin kendi içinde değerlendirilmesi ve özel olarak modellenmesi gerekliliğidir. Bundan dolayı örnek bir iş akışı her projeye uyum sağlayamayacak, kullanıcıların hata yapmalarına neden olabilecektir.

F. YBM'ye Geçişin Gecikmesi Hakkında Değerlendirme

Anketin bu bölümünde YBM'e geçişin gecikmesinin kaynaklandığı nedenler hakkında sorular sorulmuş ve öncelik sırasına göre 1-5 arasında derecelendirilmesi istenmiştir.

Yasal dayanakların olmaması yönündeki gerekçeyi; katılımcıların % 47'si 1., %18'i 2., % 18'i 3., % 7'si 4. ve % 10'u ise 5. derecede önemli görmüşlerdir.

YBM'e geçişin gecikmesinin nedenlerinden biri olarak YBM'nin tasarım aşamasının daha maliyetli olması yönünde hazırlanan soruya; katılımcıların % 31'i 1, % 36'sı 2, % 24'ü 3, % 6'sı 4 ve % 3'ü ise 5. derecede önem atfetmiştir.

Veri tabanının yetersiz olmasının YBM'ye geçişi geciktirdiği yönündeki ifade; katılımcılar tarafından % 25'i 1, % 38'i 2, % 25'i 3, % 7'si 4 ve % 5'i ise 5. derecede önemli görülmüştür.

Faydalarının tam anlaşılmasından kaynaklı gecikmeyi; % 32 oranındaki katılımcı 1, % 36'sı 2, % 12'si 3, % 10'u 4 ve % 10'u ise 5. derecede önemli gördüklerini belirtmişlerdir.

Kalifiye eleman eksikliğinden kaynaklı gecikme olmaktadır yorumu; katılımcıların % 39'u tarafından 1, % 29'u tarafından 2, % 18'i tarafından 3 % 9'u tarafından 4 ve % 5'i tarafından 5. derecede önemli olduğu yönünde karşılık bulmuştur. Yapısı gereği teknik bilgileri içinde barındıran bir sistem olduğundan nitelikli personel eksikliği YBM'ye geçişi yavaşlatan bir etkidir.

YBM'ye geçişin gecikmesi sebebinin talep eksikliğinden kaynaklı olduğu yönünde hazırlanan sorunun katılımcılardaki karşılıkları; % 38'i 1, % 28'i 2, % 16'sı 3, % 5'i, 4 ve % 13'ü 5. derecede önemli olduğu şeklindedir.

YBM'ye geçiş sürecinde adaptasyonu sağlayacak ekiplerin olmaması hususunun YBM'ye geçişin gecikmesindeki etkisi ise % 41 ile 1, % 27 ile 2, % 14 ile 3, % 8 ile 4 ve % 10 ile 5. derecede önemli bulunmuştur.

Bu soru genel olarak değerlendirildiğinde YBM'ye geçişin gecikmesine sebep olan 1. derecede önemli faktörün YBM ile ilgili yasal dayanakların olmaması hususu en yüksek oranla kabul görmüştür.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

İlgili sektör çalışanlarının YBM sistemine hakkındaki bilgileri ölçülen ve sistem hakkındaki düşünceleri kayıt altına alınan bu çalışmadan elde edilen veriler irdelenerek, sektör çalışanlarının konu hakkındaki düşünceleri birçok yönden öğrenilebilir ve yorumlanabilir. Diğer yandan çalışmadan genel bir sonuç çıkarmak gerekirse, özellikle gelişmiş ülkelerde son yıllarda kullanımı artan YBM sistemi, ülkemizde henüz yeterince bilinmemekte ve kullanılmamaktadır. İnşaat firmalarının gerek yurt içi ve gerekse yurtdışı faaliyetlerinde rekabet yoğun ortamda ayakta kalabilmeleri, etkin proje yönetimi yapabilmeleri, kaynaklarını en uygun kullanabilmelerine bağlıdır. Bu anlamda sektöre katkı sağlayabileceği ankete katılanlarca da büyük oranda kabul gören YBM sisteminin kullanımının yaygınlaştırılmasında en büyük katkının devlet tarafından verilebileceği görüşü kabul görmüştür. Ancak rekabet baskısının da kullanımı yaygınlaştıracağı kabul edilmektedir. Ankete katılanlarca da büyük ölçüde kabul gördüğü üzere, sistem hakkında eğitim imkânlarının geliştirilmesi faydalı olabilecektir. Akademik çalışmalardan, tecrübeli olan kişi veya kurumlardan ve YBM'e geçiş sürecini tamamlayan ülkelerden YBM'e geçiş konusunda destekler alınabilir. Anket verilerinde de YBM kullanımına geçişin gecikmesindeki en önemli sebep olarak görülen yasal düzenlemelerin yapılması bu anlamda faydalı olacaktır.

YAZAR KATKILARI

Makalenin ilk ve ikinci sırasında yer alan yazarlar, çalışmanın planlanma, literatür taraması, verilerin eldesi, analizi ve yazımı olmak üzere çalışmanın tüm safhalarına katkı verirken, üçüncü ve dördüncü sıradaki yazarlar ise literatür taraması, veri analizi ve makale yazımı ile yayına hazırlama aşamalarına katkı sağlamışlardır. Tüm yazarlar sunulan makalenin son halini gözden geçirerek onaylamışlardır.

ÇIKAR İLİŞKİSİ

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma ilk yazının yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Akkoyunlu, T. (2015). *Kentsel dönüşüm projeleri için YBM uygulama planı önerisi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Alat, H. (2019). *Konut projelerinde Yapı Bilgi Modellemesi kullanımı: Örnek vaka çalışması*. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- [3] Atabay, Ş., & Öztürk, M.B. (2019). Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) uygulama planı üzerine inceleme. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(2), 418-430.
- [4] Autodesk, (2022). *YBM Pilot Projesi Başlangıç Rehberi*. <http://forums.autodesk.com>, (05.01.2022).
- [5] Chan, A.P.C., Scott, D., & Chan, A.P.L. (2004). Factors affecting the success of a construction project. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130, 153-155.
- [6] Epstein, E. (2012). *Implementing Successful Building Information Modelling*. Artech House, Boston, 256.
- [7] Erdik, M. (2018). *Yapı sektöründe Yapı Bilgi Modellemesinin adaptasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- [8] Fox, K. (2014). *The business value of BIM for construction in major global markets. Smart market report*. McGraw Hill Construction. Bedford, 64. https://icn.nl/pdf/bim_construction.pdf, (12.2.2022).
- [9] Inusah, Y. (2018). *Kentsel Türk inşaat sektöründe Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) uygulamalarının yaygınlığı ve uygulamalardaki başarı düzeyleri üzerine bir inceleme*. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- [10] İBB (2017). *Yapı Bilgi Modellemesi YBM Teknik Şartname Taslağı*. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul.
- [11] Kumar, B. (2015). *A practical guide to adopting BIM in Construction Projects*. Scotland:Whitless Publishing, Dunbeth, 145.
- [12] Ofloğlu, S., (2009). Yapı Bilgi Modelleme: Yeni Nesil Mimari Yazılımlar, [http:// www. sayisalmimar. com/yayin/ybm.pdf](http://www.sayisalmimar.com/yayin/ybm.pdf), (01.02.2022)
- [13] Öktem, S. (2016). *YBM'e geçiş sürecinin organizasyonel ve operasyonel çerçevesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] Özcan, U., & Erol, İ. (2018). Sürdürülebilir Tasarımda Yapı Bilgi Modellemesi (BIM). *International Congress on Engineering and Architecture*. 14-16 November, Alanya, 14-16.
- [15] Özorhon, B. (2018). *Yapı Bilgi Modellemesi İBB Anadolu Yakası Raylı Sistem Projeleri*. Abaküs Yayınları, 1. Baskı, İstanbul.
- [16] Porwal, A., & Hewage, K.N. (2013). Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public construction projects. *Automation in Construction*, 31, 204-214.
- [17] Sarı, R. (2017). *An investigation of Building Information Modeling maturity in Turkish small-medium size enterprises architectural and engineering firms*. Master Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- [18] Sarıççek, T. (2019). *Türkiye'de mimarlık şirketleri için YBM uygulama yol haritası*. Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- [19] Selim, S. (2019). *Türkiye'de Yapı Bilgi Modellemesinin Mimari Projelerde Kullanımı Üzerine Bir Uygulama Çalışması*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [20] Tekin, H. (2017). *Yapı Bilgi Modellemesi sisteminin Türk inşaat sektörüne uygulanması ve adaptasyonunda kritik yol haritasının oluşturulması*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] Vanlande, R., Nicolle, C., & Cruz, C. (2008). IFC and building lifecycle management. *Automation in Construction*, 18(1), 70-78.
- [22] Williams, T. (2002). *Modelling complex projects*. Wiley, London, 288.

Araştırma Makalesi - Research Article

Isparta İli Elma Bahçelerinde Glyphosate'a Dayanıklı Pire Ot (*Conyza canadensis* (L.) Cronquist)'larının Belirlenmesi

Determination of Glyphosate Resistant Horseweed (*Conyza Canadensis* (L.) Cronquist) in Apple Orchard in Isparta

Ahmet Tansel Serim^{1*}, İstem Budak², Ünal Asav³

Geliş / Received: 20/04/2022

Revize / Revised: 21/05/2022

Kabul / Accepted: 31/05/2022

ÖZ

Türkiye'nin önemli elma üretim bölgelerinden biri de Isparta'dır. Elma üretim alanlarında sorunlara neden olan hastalık, zararlı ve yabancı otlar elma üretimini önemli derecede sınırlamaktadır. Yabancı otların doğrudan oluşturduğu zarar sınırlı kalmakla birlikte, özellikle erken gelişme döneminde elma bitkileriyle su, besin maddesi ve ışık rekabetine girdikleri için önemlidir. Söz konusu kayıplarının azaltılması için en çok başvurulan teknik herbisit kullanımınıdır. Herbisitler, aynı alanda rotasyon yapılmadan uzun süre kullanıldığında dayanıklı yabancı ot popülasyonları görülebilir. Herbisite dayanıklı popülasyonların görülmesinden sonra uygulanacak dayanıklılık yönetimi daha uzun ve kapsamlı çalışmaları kapsar. Bu çalışma, Isparta elma üretim alanlarında glyphosate'a dayanıklı pire otu (*Conyza canadensis*) popülasyonlarının belirlenmesi için 2015-2019 yıllarında yürütülmüştür. Dayanıklılığın tespitinde bioassay yöntemi kullanılmıştır. Tarama testi kapsamında iklim odası koşullarında yetiştirilen pire otu bitkilerine Glyphosate'ın tavsiye edilen dozu uygulanmış ve bitkilerin Glyphosate'a dayanıklılık durumları belirlenmiştir. Tarama testi sonunda dayanıklılık şüphesi taşıyan 2 Pire otu popülasyonu ile hassas popülasyon doz-tepki denemesine alınmıştır. Doz-tepki denemelerinde Pire otu popülasyonlarına Glyphosate'ın logaritmik dozları uygulanmış ve etki non-linear regresyon analizi ile belirlenmiştir. Glyphosate'a dayanıklılık şüphesi taşıyan popülasyonların I₅₀ değerlerinin F₁ popülasyonlarında 96.087 ve 83.126 ml ticari doz/da, F₂ popülasyonlarında ise 106.48 ve 98.82 ml ticari doz/da bulunmuştur. Dayanıklılık şüphesi taşıyan şifa otu popülasyonlarının Glyphosate'a toleranslarının yüksek olduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler- Glyphosate Dayanıklılığı, Pire Otu, *Conyza Canadensis*, Elma

ABSTRACT

Isparta is one of the most important apples producing areas of Turkey. Disease, pests, and weeds that result in problems in apple orchards may restrict apple production. Although the direct impact of the weeds on apples is limited, they can be significant, especially at an early stage due to competition for water, nutrients, and light. The most preferable method to prevent crop losses is herbicide use. If the herbicides were used in the same place without a rotation, herbicide resistant populations may become apparent. Implementation of resistance management following herbicide-resistant population covers more long-term and extensive studies. This study was conducted to determine Glyphosate resistance horseweed (*Conyza canadensis*) population in apple orchards of Isparta from 2015 to 2019. Bioassay techniques were employed to determine the resistance. In the screen test,

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ahmettansel.serim@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-0274-1895>)

Bitki Koruma Bölümü, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

²İletişim: istem.budak@tarimorman.gov.tr (<https://orcid.org/0000-0002-5082-138X>)

Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Yenimahalle, Ankara, Türkiye

³İletişim: asavunal@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-8437-6341>)

Bitki Koruma Bölümü, Ziraat Fakültesi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye

the recommended rate of glyphosate was applied to the horseweed populations that were grown in the growth chamber and their resistances were determined. In the dose-response experiments, logarithmic rates of glyphosate were applied to horseweed populations and the impact was identified by non-linear regression analysis. I_{50} values of suspected glyphosate resistant populations were 96.087 and 83.126ml commercial ingredient/da and 106.48 and 98.82ml commercial ingredient/da for F1 and F2 populations, respectively. The populations separated as suspected glyphosate resistant horseweed have been considered as high-level herbicide tolerant.

Keywords- Glyphosate Resistance, Horseweed, Conyza Canadensis, Apple

I. GİRİŞ

Yumuşak çekirdekli meyveler grubu içerisinde yer alan Elma ekonomik getirisi yüksek olan bir kültür bitkisidir. Elma hem iç tüketim hem ihracat amaçlı üretilmekte; taze tüketilebildiği gibi meyve kurusu, meyve suyu ve reçel olarak da tüketilebilmektedir. Türkiye üretim miktarı bakımından, Çin (44 milyon 66 bin ton) ve ABD (4 milyon 490 bin ton)'nin arkasından dünyada 3. sırada gelmektedir [1]. Türkiye 2021 yılı verilerine göre elma üretim alanı 168.811 ha olup, yıllık 4 milyon 493 bin ton'luk bir üretime sahiptir. Isparta ili ise aynı yıl verilere göre ülkemizin elma üretim alanının %13'üne sahip olmakta ve toplam üretimin %25'ini karşılamaktadır [2]. Türkiye'nin ihracat ürünleri arasında önemli yere sahip olan elmada verim kaybına neden olan etmenlerin başında yabancı otlar gelmektedir. Özellikle küçük ölçekli üretim alanlarında üretimde geçen zamanın %40'ı yabancı ot mücadelesine ayrılmaktadır [3].

Yabancı otlar kültür bitkileri ile su, besin maddesi, ışık ve yer için rekabete girerler [4]. Kitiş [5] Isparta ili elma bahçelerinde yaptığı yabancı ot sürveyinde 23 familyaya ait 63 yabancı ot türü tespit etmiş, bu türlerden en yoğun olanların *Amaranthus retroflexus* L., *Portulaca oleracea* L., *Setaria verticillata* (L.) P.B. türleri olduğunu bildirmiştir. Benzer bir çalışmayı Niğde'de yürüten Üstüner ve Akyol (2007) en yoğun türlerin *Agropyron repens* (L.) P. Beauv., *Alopecurus myosuroides* Hudson, *Bromus tectorum*, L. ve *Cynodon dactylon* (L.) Pers. olduğunu tespit etmişlerdir [6]. Allelopatik kimyasallar salgılayan bazı yabancı otlar meyve ağaçlarının gelişimini engelleyebilirler. Ayrıca yabancı otlar hastalık ve zararlılara konukçuluk da etmektedirler. Örneğin elma bahçelerinde sorun olan karahindibağı, domates ring spot virüsüne konukçuluk yaparak nematodlar vasıtasıyla virüsün elmaya bulaşmasına neden olabilir [4]. Yabancı otla kaplı bahçelerde kemirgenlerin oluşturduğu zararlar da daha yüksektir [4]. Yabancı otlar toprak yüzeyine gelen güneş ışığını azalttığı için meyvelerde don zararının etkisini artırabilirler. Yabancı otlar bu dolaylı zararları yanında önemli verim ve kalite kayıplarına da neden olurlar. Tek yıllık ya da otsu yabancı otlar %16-49 verim kaybına neden olduğu, bu yabancı otların bulunduğu parsellerdeki meyvelerin daha küçük olması nedeniyle ekonomik kaybının %25-55'e çıktığı belirlenmiştir [7]. Başka bir çalışmada ise elma verimindeki toplam kaybın %27 olduğu ve büyük meyve sayısının ise %57 azaldığı belirlenmiştir [8].

Yabancı otların zararını en aza indirmek için birçok yöntem bulunmasına rağmen en çok tercih edilen uygulama kimyasal mücadeledir. Ancak aşırı herbisit uygulamaları sonucunda dayanıklı yabancı ot popülasyonlarının görülme sıklığı artmaktadır. Bir bitkinin değişik kimyasal sınıflardan herbisitlere genetik özellikler sayesinde karşı koyabilme durumu herbisit dayanıklılığı olarak ifade edilmektedir. Herbisit dayanıklılığı; herbisite hassas olan yabancı ot bireylerin popülasyondaki sayısının azalması ve buna karşın doğada zaten var olan dayanıklı popülasyonların rekabet koşullarının azalması ve zaman içerisinde seleksiyon yoluyla popülasyondaki sayısının hâkim konuma geçmesidir. Dayanıklı türler, genetik olarak bir sonraki nesillerine de bu dayanıklılık genlerini taşımaktadırlar [9]. Herbisitlere dayanıklılığı konusunda Washington'da (ABD) triazine dayanıklı *Senecio vulgaris* L. popülasyonunun 1970 yılında raporlanması bu konudaki ilk bilimsel veridir [10]. Günümüzde dünyada herbisitlere karşı 153'si geniş yapraklı, 113'i dar yapraklı olmak üzere toplam 266 yabancı ot türüne ait 512 dayanıklılık vakası olduğu tespit edilmiştir [10].

Glyphosate (N- fosfonometil glisin) tek yıllık ve çok yıllık yabancı otları geniş bir yelpazede kontrol edebilen sistemik etkili total bir herbisittir. Glyphosate ilk olarak 1974 yılında tanıtılmış ve o yıldan bu yana, dünyada en fazla alanda kullanılan herbisit olmuştur. Glyphosate'ın yaygın kullanımı birçok yabancı ot türleri üzerinde duyarlılığı azaltmış ve pire otu da dahil olmak üzere birçok türde, dayanıklılığın hızlı şekilde görülmesine neden olmuştur. Şifa otuna karşı ilk dayanıklılık tespiti Japonya da 1980 yılında bağ, meyve bahçeleri, demiryolları ve yol kenarlarından toplanan örneklerde Bipyridiliums grubu bir herbisit olan paraquat'da kaydedilmiştir [10]. Dayanıklılık daha sonra pek çok ülkede tespit edilmiş, özellikle 2005 – 2011 yılları arasında belirlenen

dayanıklılığın büyük bir çoğunluğu *Glycines* grubuna dahil (EPSPenzim inhibitörü) bir herbisit olan glyphosate karşı geliştiği bildirilmiştir [10].

Ege ve Akdeniz Bölgesi turuncğil alanlarında bulunan pire otu türlerini belirlemek için yürütülen bir çalışmada, moleküler analiz sonuçlarına göre en yaygın türün *C. bonariensis*, bağ alanlarında ise *C. canadensis* olduğu belirlenmiştir [11]. Ülkemizde pire otu türlerinin Glyphosate'a dayanıklılığı üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında; Ege ve Akdeniz Bölgesi turuncğil ve bağ alanlarından toplanan 252 populasyonun 32'sinin Glyphosate'a dayanıklı olduğu bildirilmiştir [12]. Araştırmacılar pire otu için dayanıklılık indeksi değerlerinin F1 bireyleri için 1.3-9.0, F2 bireyleri için 1.7-9.7 olduğunu ve dayanıklılığın hedef nokta dayanıklılığından kaynaklanmadığını bildirmişlerdir. Marmara bölgesinde şeftali bahçelerinden toplanan bazı *C. sumatrensis* populasyonlarının Glyphosate'a rozet döneminde uygulandığında 3.8-6.6 kat, vejetatif dönemde uygulandığında ise 5.3-7.8 dayanıklı olduğu olduğunu belirlemişlerdir [13]. Araştırmacılar dayanıklı populasyonların chlorsulfuron'ada 2.4-3.8 kat dayanıklı olduğunu ancak metribuzin ile populasyonlarının kontrol edilebildiklerini bildirmişlerdir. Marmara bölgesinde yürütülen başka bir çalışmada dayanıklı pire otu populasyonların hassas olanlara göre dayanıklılık indeksi değerlerinin 4.9-12.8 arasında değiştiği bildirilmiştir [14].

Kalifornia'nın merkez vadisinde, çok yıllık kültür bitkilerinde ve tarım dışı alanlarda Pire otu probleminin giderek arttığı belirtilmektedir. Benzer durumun Glyphosate'a tolerant kültür bitkilerinin yetiştirildiği diğer bölgelerde de gözlemlendiği ifade edilmektedir. Bu durum karşısında Kalifornia'da üretim alanlarında glyphosate'a karşı dayanıklı olan Pire otu populasyonları ile mücadelede, dayanıklılık yönetimi teknikleri ile mücadele edildiği bildirilmektedir [15]. Glyphosata dayanıklı Pire otu istilasının Amerika Birleşik Devletleri'nin doğu kısımlarında yaygın bir hale geldiği, toprak işlemez tarımın yapıldığı alanlarda Pire otundaki bu dayanıklılık probleminin glyphosate'ın yoğun kullanımından kaynaklanan dayanıklılığın sonucu olduğu ifade edilmiştir. Glyphosate'ın kontrol edemediği dayanıklı Pire otu populasyonlarını farklı etki mekanizmalarına sahip alternatif herbisitler ile kontrol edebildiklerini belirtilmiştir [16]. Amerika Birleşik Devletlerinin Orta Batı kısmında bulunan Corn Belt'de toprak işlemez soya fasulyesinin yetiştiriciliğinin yapıldığı alanlarda Pire otu probleminin yaygın olduğu ve bu problemin giderek arttığı ifade edilmektedir. Araştırmacılar dayanıklılık yönetimi tekniklerini araştırdıkları çalışmalarında, ürün rotasyonu ve ekim öncesi herbisit uygulamaları ile dayanıklılık yönetiminin 4. yılının sonunda Glyphosata dayanıklı Pire otu populasyonların da hızlı bir şekilde azalmanın olduğunu belirlemişlerdir [17].

Brezilya São Paulo'da araştırmacılar, yaptıkları çalışmada glyphosate'a dayanıklı *Conyza* spp. türleri ile mücadelede alternatif herbisit kullanım seçeneklerini araştırmışlardır. Bu kapsamda, glyphosate+bromacil+diuron, glyphosate+atrazine, glyphosate+diuron, glufosinate ammonium, MSMA, bromacil+diuron, metsulfuron, carfentrazone ve paraquat uygulamalarını araştırmışlardır. Araştırma sonucunda, MSMA, bromacil+diuron, metsulfuron, carfentrazone ve paraquat uygulamalarının Glyphosate'a dayanıklı *Conyza* spp. populasyonları ile mücadelede alternatif uygulamalar olabileceklerini belirtmişlerdir [18].

Son yıllarda yoğun herbisit uygulaması yapılan ülkeler de çok önemli bir problem haline gelen herbisit dayanıklılığı konusunda ülkemizde yapılan çalışmalar sınırlıdır. Özellikle geniş bir yelpazede kullanımı olan glyphosate'ın elma bahçelerinde bulunan yabancı otlara karşı dayanıklılık boyutu şu ana kadar ülkemizde araştırılmamış bir konu olup, yabancı ot mücadelesi için elma bahçelerinde kullanılan glyphosatin etkisini kaybettiği yönünde üretici şikayetleri de gelmiştir. Bu çalışmada Isparta ilinde elma bahçelerinde sorun olan pire otu populasyonları içinde glyphosata dayanıklı populasyonlarının saptanması amaçlanmıştır.

II.MATERYAL VE METOT

A. Materyal

Çalışmanın ana materyalini; Glyphosate etkili maddeli (glyphosate potasyum tuzu, 441 g/L) herbisit ile Isparta ili elma bahçelerinden ve herbisit uygulaması yapılmamış çayır, merave doğal alanlardan toplanan Pire otu tohumları oluşturmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Isparta ilinden toplanması pire otu popülasyonlarının koordinatları

İlçe adı	Koordinat
Merkez	37°49'25.7"N 30°31'50.5"E, 37°47'45.4"N 30°30'49.4"E, 37°48'28.7"N 30°32'30.1"E, 37°46'48.6"N 30°35'56.9"E, 37°45'40.5"N 30°36'46.3"E, 37°45'23.3"N 30°36'03.2"E
Aksu	37°48'41.9"N 31°00'41.2"E, 37°48'02.2"N 31°00'59.6"E, 37°47'50.8"N 31°03'47.2"E, 37°47'33.9"N 31°04'36.0"E, 7°47'18.9"N 31°04'00.5"E (P _{Hassas})
Atabey	37°55'03.6"N 30°40'04.7"E, 37°54'31.7"N 30°39'01.2"E, 37°53'28.2"N 30°37'34.0"E, 37°57'23.6"N 30°38'23.2"E, 37°57'08.2"N 30°39'49.4"E, 37°55'49.9"N 30°42'12.2"E
Eğirdir	37°53'08.7"N 30°54'17.1"E, 37°52'33.8"N 30°54'27.5"E, 37°46'55.5"N 31°00'39.5"E, 37°46'51.9"N 30°59'42.8"E, 37°49'22.1"N 30°54'00.9"E, 37°50'17.5"N 30°52'58.9"E
	37°49'46.0"N 30°52'10.6"E, 37°48'45.4"N 30°52'26.3"E, 37°45'50.4"N 30°52'29.9"E, 37°42'19.4"N 30°52'52.3"E, 37°52'12.7"N 30°48'02.4"E, 37°54'52.6"N 30°47'17.0"E,
Gelendost	38°09'49.8"N 30°58'23.5"E, 38°09'26.2"N 30°58'01.6"E, 38°08'58.9"N 30°57'20.0"E, 38°08'42.5"N 30°57'54.8"E, 38°07'39.5"N 30°57'10.7"E, 38°07'19.6"N 30°55'39.2"E
	38°06'26.3"N 30°56'45.6"E (P ₂ popülasyonu), 38°05'56.1"N 30°57'06.9"E, 38°03'23.8"N 30°57'33.4"E, 38°00'40.5"N 30°57'40.4"E, 38°05'17.6"N 31°00'49.3"E, 38°06'33.7"N 31°02'15.4"E, 38°06'30.0"N 31°00'24.7"E, 38°08'36.4"N 31°00'27.3"E
Gönen	37°57'19.6"N 30°29'53.9"E, 37°56'20.6"N 30°30'03.5"E, 37°53'53.6"N 30°29'50.9"E (P ₁ popülasyonu)
Keçiborlu	37°55'57.1"N 30°19'05.3"E, 37°54'50.5"N 30°20'29.2"E, 37°52'45.0"N 30°18'56.0"E, 37°57'17.3"N 30°17'45.0"E
Senirkent	38°07'10.3"N 30°33'41.0"E, 38°08'05.1"N 30°37'09.3"E
Sütçüler	37°31'39.3"N 30°58'10.6"E
Şarkikaraağaç	38°07'12.2"N 31°25'35.4"E, 38°06'39.6"N 31°24'32.5"E, 38°05'45.4"N 31°23'43.3"E, 38°03'49.3"N 31°26'13.3"E, 38°03'18.5"N 31°22'54.9"E
Uluborlu	38°05'37.0"N 30°26'37.9"E, 38°06'18.2"N 30°28'13.1"E
Yalvaç	38°21'00.7"N 31°08'42.4"E, 38°19'16.9"N 31°09'00.2"E, 38°17'24.0"N 31°08'42.3"E, 38°13'50.4"N 31°07'04.4"E, 38°12'22.8"N 31°06'40.3"E
Yenişarbademli	37°41'58.6"N 31°22'50.0"E, 37°42'35.5"N 31°24'02.1"E, 37°43'08.3"N 31°25'21.4"E

Denemede iklim odası, viyol, toprak, kum, çiftlik gübresi, kese kağıtları, plastik torbalar, plastik küvetler, Sprey ilaçlama kabini (sprey chamber), etiketler, hassas terazi, etüv, buzdolabı, GPS ve mikro pipetler kullanılmıştır.

B. Arazi Çalışmaları

Isparta ili elma üretim alanlarında Pire otu popülasyonları arasında Glyphosate'a dayanıklılık kazanmış olanları saptamak için elma üretimi yapılan ilçelerde üretim alanlarının % 0,1'i ziyaret edilerek, Pire otu tohumları toplanmıştır. Ayrıca herbisit uygulanmamış doğal alanlardan da Pire otu tohumları toplanmıştır. Pire otu tohumlarının alındığı alanların GPS kayıtlarında tutulmuştur. Doz-yanıt denemelerinde kullanılacak olan hassas Pire otu popülasyonlarının hassas olduğu konusunda herhangi bir şüpheye yer vermemek için, çayır ve meralar ile tarım dışı alanlardan Pire otu tohumları toplanırken paçal yapılarak değil, bitki bazında ayrı ayrı toplanmıştır. Laboratuvara getirilen tüm örnekler temizlendikten ve 2 gün gölge koşullarda kurutulduktan sonra +4 °C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir. Laboratuvara getirilen bu tohumlar çimlenme testlerine tabi tutulmuş ve tohumların çimlenme sorunu olmadığı belirlenmiştir.

C. Tarama Testi Çalışmaları

Pire otu popülasyonları arasında Glyphosate'a dayanıklı popülasyonların belirlenmesinde, klasik test metodu kullanılmıştır [19]. Öncelikle, tarama testi ile popülasyonların glyphosate'a hassas olup olmadıkları belirlenmiştir. Bu tarama testinde, her bir elma bahçesi için ayrı ayrı olmak üzere, elma bahçesinden toplanan pire otu popülasyonu tohumları üç tane küvete ekilmiştir. Yetiştirme ortamı olarak gübre:toprak:kum (1:1:1) karışımı kullanılmıştır. Toprak ve kum materyalleri herbisit kullanılmamış alanlardan temin edilmiş ve toprak sterilizatörü ile sterilize edilmiştir. Tohumların çimlendirilerek Pire otu fidelerinin elde edilmesi iklim odasında (22 °C ve 18°C gece sıcaklığı) gerçekleştirilmiştir. Küvetlerden bir tanesi kontrol (ilaçsız) olarak bırakılmış, diğer iki küvette ise Pire otları çıktıktan sonra aktif büyüme dönemlerinde iken glyphosate'ın etiket dozu (N dozu: 300 ml ticari preparat/da) uygulanmıştır. Uygulamadan sonraki 28. günde, ilaçlanmış olan küvetlerden herhangi birinde bir tane bile canlı Pire otu varsa o popülasyon dayanıklı şüphesi ile doz-etki denemesine alınmıştır. İlaçlanmış olan küvetlerin her ikisinde de canlı bir tane bile Pire otu yoksa o popülasyon hassas popülasyon olarak kabul edilmiştir.

D. Doz-Etki Çalışmaları

Tarama testinden sonra Pire otundaki dayanıklılık durumunu ED₅₀ değerleri üzerinden de belirlemek için ise doz-yanıt denemeleri kurulmuştur. Bu kapsamda, tarama testi sonucunda belirlenen hassas Pire otu popülasyonlarına ait tohumlar ile Glyphosate'a hassas olmadığı belirlenen Pire otu popülasyonlarına ait tohumlar iklim odası koşullarında viyollere ekilmiştir. Tohum ekili olan viyoller delikli plastik tavalara içine konulmuştur. Yetiştirme ortamı olarak gübre:toprak:kum (1:1:1) karışımı kullanılmıştır. Pire otu tohumlarından çıkış yapan bitkilere aktif büyüme dönemlerinde (2-4 gerçek yaprak) Glyphosate'ın farklı dozları uygulanmıştır. Herbisite hassas popülasyona X/8, X/4, X/2, X=Etiket dozu, 2X ve 4X dozları uygulanırken, herbisite dayanıklılık şüphesi taşıyan popülasyonlara X/4, X/2, X, 2X, 4X, 8X ve 16X dozları tatbik edilmiştir. Kontrol bitkilerine ise sadece su uygulanmıştır. İlaçlamalar ilaçlama kabininde 20 l/da ilaç normu (ilaç + su) hesabı ile yapılmıştır. Etki değerlendirmesi uygulamadan sonraki 28. günde Pire otları toprak yüzeyinden hasat edilerek yapılmıştır. Kesilen bitkiler kase kağıtları içerisine konulmuş ve 70 °C de 48 saat etüve kurutulduktan sonra hassas terazide kuru ağırlıkları (g) alınmıştır. Doz-yanıt denemeleri tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuş ve iki kez tekrarlanmıştır. Doz-yanıt denemelerinde dayanıklılığı belirlemede ED₅₀ değerlerinden faydalanılmıştır.

Glyphosate dayanıklı pire otu popülasyonlarında dayanıklılığın gelecek kuşaktaki durumunun belirlenmesi için F₂ popülasyonları kullanılarak da doz-etki denemeleri kurulmuştur. Bu amaçla; F₁ jenerasyonuna ait 2 dayanıklılık şüpheli popülasyon ve 1 hassas popülasyonun tohumları saksılara ekilerek iklim odasında farklı zamanlarda büyütülmüş, bu bitkilerden F₂ jenerasyonunun tohumları elde edilmiştir. F₂ jenerasyonunun tohumları ekilerek üretilen fideler kullanılarak ile doz-etki denemeleri tekrarlanmıştır.

E. Sonuçların Değerlendirilmesi

Pire otu popülasyonlarındaki dayanıklılık durumlarının Glyphosate'ın ED₅₀ değerleri ile belirlenmesi için ise hassas olan ve dayanıklılığında şüphe edilen Pire otu bitkilerinden elde edilen kuru ağırlık (g) verileri regresyon analizine (doz-yanıt) tabi tutulmuştur. Değerlendirmelerde doğrusal olmayan regresyon analizi uygulanmıştır [Formül 1]. İstatistiksel değerlendirmeler R istatistik programında DRC modülü kullanılarak yapılmıştır. Regresyon analizinde veriler Log-Logistic model kullanılarak değerlendirilmiştir. [20].

$$Y=C / (1+ \text{Üs}(b*(\log(X)- \log(I_{50})))) \quad (1)$$

Formülde; Y: Kuru ağırlığı; C: Maksimum kuru ağırlığını, B: Doz etki kurvesinin I₅₀ noktasındaki eğimini, X: Herbisit dozunu ve I₅₀: Bitkinin kuru ağırlığının %50 azaldığı herbisit dozunu ifade etmektedir.

Modelin doğruluğunun belirlemek için uyum eksikliği testi kullanılmıştır. Uyum eksikliği testi varyans analizi ile regresyon analizi arasındaki farklılığı belirlemek için F testi kullanılarak R istatistik programı içerisinde yapılmıştır. Non-linear regresyon analizlerinden elde edilen I₅₀ değerlerinin değerlendirilmesinde her popülasyonun dayanıklılık katsayısı belirlenmiştir. Hassas olarak değerlendirilen popülasyon bu amaçla kullanılmıştır. Dayanıklılık katsayısı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$R = \frac{DPID}{HPID}$$

Formülde; R: Dayanıklılık katsayısını, DPID: Dayanıklı popülasyonun I₅₀ değerini, HPID: Hassas popülasyonun I₅₀ değerini ifade etmektedir.

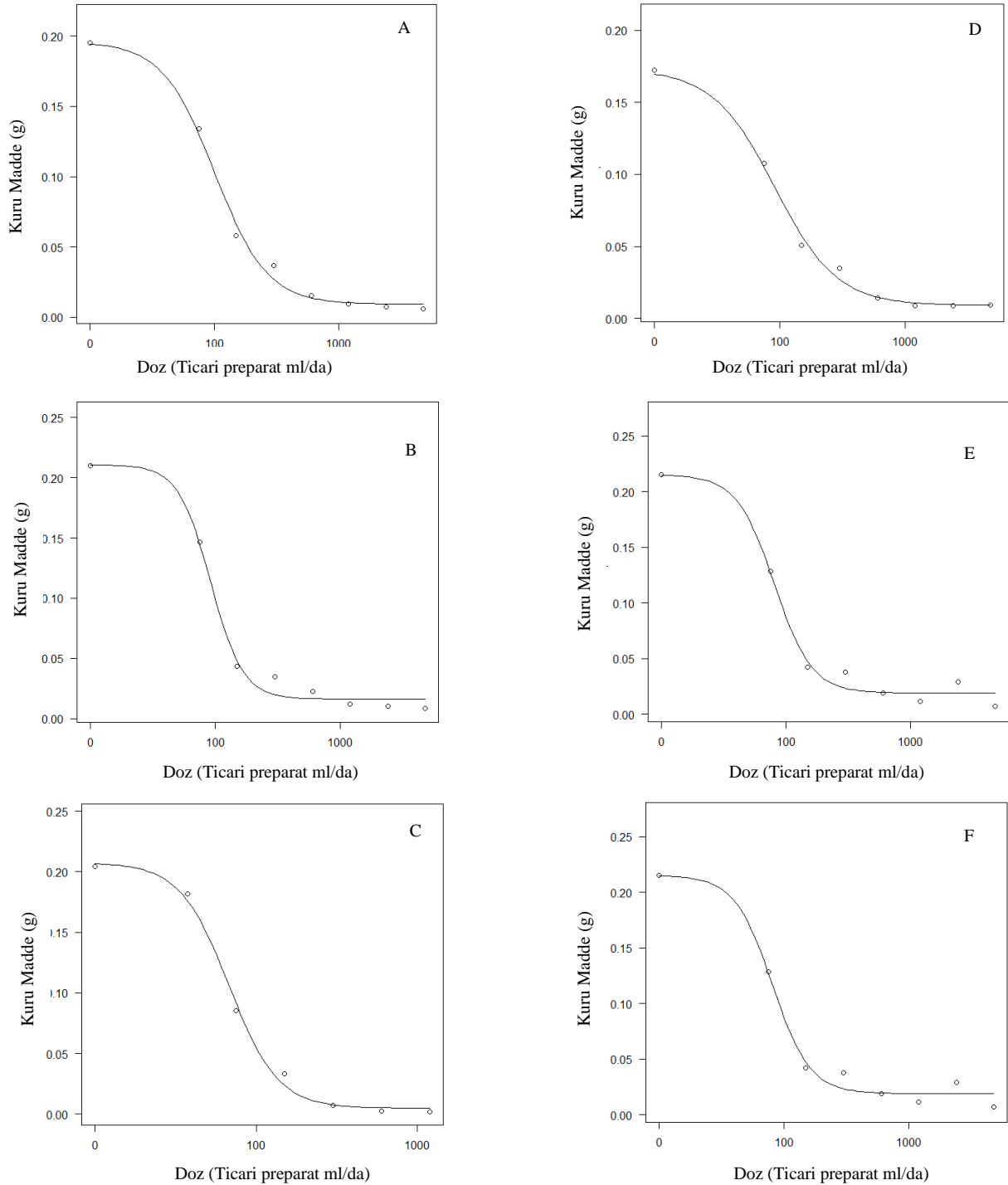
III. BULGULAR

Tarama testleri sonucunda 2 adet şifa otu popülasyonunun Glyphosate'nin tavsiye dozu (300 ml/da) uygulamasında ölmediği, kalan 66 şifa otuna ait popülasyonların ise tamamının öldüğü görülmüştür. Tarama testinin sonucundan elde edilen verilere göre 2 adet Glyphosate'a dayanıklı olduğundan şüphelenilen şifa otu popülasyonu ile 1 adet hassas şifa otu popülasyonu doz-etki çalışmasına tabi tutulmuştur. Dayanıklılık şüphesi olan şifa otu popülasyonlarına Glyphosate'ın tavsiye dozunun 1/4 ile 16 katı arasındaki dozları uygulanmıştır. Hassas şifa otu popülasyonuna ise Glyphosate'ın tavsiye dozunun 1/8 ile 4 kat dozları uygulanmıştır. Herbisit uygulanan 1. ve 2. jenerasyondaki şifa otlarının kuru madde miktarının dozun artmasına bağlı olarak azalma gösterdiği görülmüştür (Tablo 2, Şekil 1).

Tablo 2. Doz-etki denemelerine alınan dayanıklılık şüphesi olan ve hassas pire otu popülasyonlarına uygulanan farklı glyphosate dozlarında yabancı otların kuru ağırlıkları (g)

Jenerasyon	Doz (g tp /da)	Bitki Kuru ağırlığı (g)		Doz (g tp/da)	Bitki Kuru ağırlığı (g) P _{hassas}
		P ₁	P ₂		
F ₁	0	0.1725	0.215	0	0.1825
	75	0.1075	0.1285	37.5	0.1625
	150	0.05075	0.04225	75	0.061
	300	0.03475	0.0375	150	0.0145
	600	0.01425	0.01875	300	0.009
	1200	0.00875	0.01125	600	0.00625
	2400	0.00875	0.029	1200	0.00225
	4800	0.009	0.007	2400	-
F ₂	0	0.1950	0.2103	0	0.2043
	75	0.1340	0.1463	37.5	0.1820
	150	0.0580	0.0433	75	0.0853
	300	0.0365	0.0348	150	0.0333
	600	0.0155	0.0228	300	0.0073
	1200	0.0095	0.0120	600	0.0028
	2400	0.0073	0.0103	1200	0.0020
	4800	0.0060	0.0088	2400	-

tp: ticari preparat



Şekil 1. Dayanıklı şüphanesi olan ve hassas şifa otu popülasyonların kuru madde-glyphosate doz grafikleri (A: F1 jenerasyonu P1 şifa otu popülasyonu, B: F1 jenerasyonu P2 şifa otu popülasyonu, C: F1 jenerasyonu hassas şifa otu popülasyonu, D: F2 jenerasyonu P1 şifa otu popülasyonu, E: F2 jenerasyonu P2 şifa otu popülasyonu, F: F2 jenerasyonu hassas şifa otu popülasyonu)

Doz etki çalışmalarında F₁ jenerasyonuna ait şifa otu ile kurulan denemelerde dayanıklı ve hassas popülasyonların I₅₀ değerlerinin sırasıyla 96.09, 83.13 ve 62.88 ml ticari doz/da olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). F₂ jenerasyonuna ait şifa otu bireyleriyle yapılan yeni doz etki denemelerinde ise I₅₀ değerleri sırasıyla 106.48, 98.82, 69.51 ml/da olduğu hesaplanmıştır. Değerlendirme sonucunda F₁ jenerasyonuna ait herbisite dayanıklılık

şüphesi olan şifa otu popülasyonların dayanıklılık katsayısı F_2 jenerasyonuna ait olanlarda birbirine yakın bulunmuştur. I_{90} (bitkinin kuru madde miktarında %90 azalmaya neden olan herbisit dozu) değerlerine göre F_1 jenerasyonuna ait dayanıklılık şüphesi taşıyan şifa otu popülasyonlarının dayanıklılık katsayıları F_2 jenerasyonunda düşük bulunmuştur.

Tablo 3. F_1 ve F_2 jenerasyonlarına ait pire otu bitkilerinin Non-linear regresyon analizi ile hesaplanan model parametreleri ve dayanıklılık katsayısı değerleri

Parametre	F1			F2		
	P ₁	P ₂	P _{hassas}	P ₁	P ₂	P _{hassas}
B	1.35	1.44	3.6	1.65	2.09	2.64
C	0.17	0.21	0.18	0.197	0.212	0.208
I_{50}	96.09	83.13	62.88	106.48	98.82	69.51
R_{I50}	1.53	1.32	1	1.53	1.42	1
I_{90}	487.608	379.318	115.65	402.45	283.06	159.60
R_{I90}	4.23	3.29	1	2.53	1.78	1

IV.TARTIŞMA VE SONUÇ

Pire otu bitkileri elma bahçelerinde yer alan diğer yabancı otlarla karşılaştırıldığında farklı bir gelişme periyoduna sahip olduğu görülmektedir. Elma bahçelerinde yabancı ot mücadelesi genellikle erken ilkbaharda (Mart-Nisan ayında) başlayarak mevsim ve tarla koşullarına bağlı olarak hasat zamanına kadar (Ağustos-Eylül) devam eder. Yabancı otlar için erken ilkbahar toplu çıkış açısından önemli olduğu için herbisit uygulamasının veya mekanik yabancı ot mücadelesinin bu dönemde yapılmasına odaklanılmaktadır. Erken ilkbaharda yapılan herbisit uygulamaları sırasında geniş yapraklı yabancı ot türleri genellikle bahçe yüzeyini kapladığı için bu bitkilerin altında kalan ve çıkışı yavaş olan ve çıktuktan sonra rozet halinde belirli bir süre bekleyen pire otu gibi yabancı otlara, uygulanan herbisitın temas etmesi mümkün olmamaktadır. Herbisite maruz kalan diğer yabancı otlar ölümlerine göre pire otu fideleri herbisitten etkilenmedikleri için gelişmeye devam ederler. Kuruyan yabancı otlar pire otu ile rekabete giremediği için pire otu fideleri çok hızlı bir şekilde gelişmeye devam etmekte ve kuruyan yabancı otların içinden çıkarak elma bahçesini kaplayabilmektedir. Söz konusu durum üreticilerde kullanılan herbisitın etkisiz kaldığı veya yabancı otun kullanılan herbisite dayanıklı olduğu şüphesini doğurmaktadır. Nitekim çalışma sonunda F_2 jenerasyonundan alınan pire otu popülasyonlarında dayanıklılık bulunmayıp, sadece 2 popülasyonun Glyphosate'a tolerans seviyelerinin yüksek olduğunun bulunması gözlemlerimizi doğrulamaktadır.

Pire otu bitkilerinin Glyphosate olan tolerans seviyeleri çok geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. Aslında bu durum pire otuna özgü bir olgu değildir. Yabancı hardalda uygulanan herbisite karşı bir popülasyondaki bireylerin ED_{90} değerlerinin geniş bir skalada dağılım gösterdiğini belirlenmiştir [21]. Pire otu ile ilgili verilerimiz Mennan [21]'in bulguları ile paralellik arz etmektedir. Bir sezonda on binlerce hatta yüzbinlerce tohum üretebilen birçok yabancı otta benzer durumlar gözlenmiştir. Elma gibi geniş sıra arasına sahip kültür bitkilerinde sıra arasındaki pire otunun tohumları rüzgar ile çok rahat şekilde başka alanlara dağılabilmektedir. Herbisit seleksiyonu olmadan kullanılan tavsiye dozundaki herbisit, bireyleri öldürmediğinde herbisite dayanıklılık ilk akla gelen seçenek olsa da bu durum doğal popülasyonda toleransı yüksek popülasyonların bulunmasından da kaynaklanabilir. Isparta ili elma bahçelerinde pire otu bitkilerinde görülen Glyphosate karşı etkisizlik şikayetinin altında yatan nedenlerden birisinin de bu olduğu değerlendirilmektedir.

Isparta ilinde elma bahçelerinde herbisit uygulama alışkanlıklarına baktığımızda birinci herbisit uygulamasından sonra 15-20 gün içerisinde yeni bir herbisit uygulaması yapıldığı görülmektedir. Yapılan ikinci uygulama sırasında, şifa otu diğer yabancı otların rekabetinden kurtulduğu için hızlı bir büyüme göstererek 6-8 yapraklı döneme kadar ulaşabilmektedir. Genellikle yabancı otları kontrol etmek için tavsiye edilen herbisitlerde yabancı otların 2-4 yapraklı dönemi hedef alınarak etkili dozlar belirlenir. Gelişme döneminin ilerleyen zamanlarında yabancı otları kontrol etmek için kullanılan herbisit miktarı artar. Ancak Isparta örneğinde olduğu

gibi üreticiler 300 ml ticari preparat dozu/da kullandıklarında, tatbik edilen Glyphosate miktarı pire otu bitkilerini öldürmeye yetmediği için zaman zaman içerisinde ilaçlanan pire otlarının yeniden sürdüğü görülebilir [12]. Bu durum pire otuna özel olmayıp darıcan gibi yabancı otlarda da benzer durumlar rapor edilmiştir [22,23].

Van Gessel ve ark. [16] sera koşullarında yürüttükleri bir çalışmada, Glyphosate'a dayanıklı ve duyarlı pire otu popülasyonlarını farklı gelişme döneminde ilaçlamış, erken fide döneminde yapılan Glyphosate uygulamalarının geç rozet dönemi ya da sapa kalkma döneminde yapılan uygulamalara göre daha etkili olduğunu, pire otu bitkilerinin erken gelişme dönemlerinde Glyphosate'a daha duyarlı olduğunu bildirmişlerdir. Arazi gözlemlerimiz sırasında saptadığımız durum Van Gessel ve ark. [16]'nın bulgularıyla da paralellik göstermektedir. Sammons ve Gaines [24] yürüttükleri bir çalışmada, Glyphosatın tavsiye dozunun ülkelere ve gelişme dönemlerine göre değişim gösterdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar erken dönemde kullanılan Glyphosate'ın tavsiye dozunun Fransa'da 900 g etkili madde/ ha, İngiltere'de 1080 g etkili madde/ ha, İspanya'da ise 1080-2160 g etkili madde/ ha olduğunu bildirmişlerdir. Ülkemizde ise tavsiye dozu 1080 g etkili madde/ ha'dır. Fransa ve İngiltere'de Glyphosate'ın düşük dozları etkili iken, İspanya'da daha yüksek dozlar etkilidir. Bu farklılıkların iklim koşullarından da kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ülkemizde ise önerilen tavsiye dozunun Fransa'dan yüksek, İspanya'dan nispeten düşük kaldığı görülmektedir. Çalışmamız sonucunda bulduğumuz I₅₀ değerleri pire otu türleri için başka ülkelerde belirtilen tavsiye dozları da dikkate alındığında dayanıklılık kabul edilebilecek sınırdan veya bu sınırın altında kalmaktadır. Bu bulgular pire otu popülasyonlarının Glyphosate'a toleransları ile ilgili görüşlerimizi desteklemektedir. Isparta ili elma bahçelerinden toplanan ve dayanıklı şüphesi olan popülasyonlar, Glyphosate'ın yüksek dozlarına maruz kaldığında hepsi ölmüştür. Denemede pire otu bitkilerinde kullanılan Glyphosata olan toleransın 2 popülasyonda yüksek olmasına rağmen bu popülasyonların herbisitinin yüksek dozlarında ölmesi, söz konusu dayanıklılığın hedef nokta dayanıklılıktan ziyade metabolik dayanıklılıktan kaynaklandığını düşündürmektedir [12].

Isparta ilinde survey amacıyla yapılan ziyaretlerde üreticilerin örtücü bitki kullanma, biçme ve bahçe sürümü gibi alternatif yabancı ot kontrol yöntemlerini sıklıkla kullandıkları görülmüştür. Elma üretiminin yoğun olarak yapıldığı Isparta gibi lokasyonlarda herbisit dayanıklılığının ortaya çıkmasının geciktirilmesi için; yabancı ot mücadelesinde entegre mücadele ilkeleri göz önüne alınarak en az herbisitler kadar etkili olan alternatif yabancı ot kontrol yöntemlerinin kullanılmasına devam edilmelidir [25]. Bu uygulamalar dayanıklı biyotiplerin olduğu alanlarda tavsiye edilen yabancı ot kontrol uygulamalardan olduğu için dayanıklılığın veya toleransın sınırlı düzeyde kalmasında etkili olduğu değerlendirilmektedir. Isparta ilinde şifa otu olan elma bahçelerinde çok yıllık yabancı otlar da mevcut ise bu bahçelerde yabancı ot mücadelesi için Glyphosate'ın çok yıllık yabancı otlar için önerilen dozu olan, 600 ml ticari preparat/da dozu uygulanmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) tarafından desteklenen TAGEM-BS-15/08-03/04-01 numaralı "Isparta ili elma bahçelerinde sorun olan pire otu (*Conyza canadensis*)'nun Glyphosate'a Dayanıklılığının Tespiti ve Haritalanması" başlıklı proje kapsamında hazırlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Anonymous. (2022). *Global leading apple producing countries in 2020/2021*. <https://www.statista.com/statistics/279555/global-top-apple-producing-countries/>, (Erişim Tarihi: 15.04.2022)
- [2] Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). *Tarım-Bitkisel Üretim İstatistikleri*. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> (Erişim tarihi: 20.05.2022).
- [3] FAO. (1994). *Weed management for developing countries*. Food and Agriculture Organization, Italy, 384.
- [4] Derr, J. F. (2001). *Biological assessment of herbicide use in apple production, I. background and current use*. <http://horttech.ashspublishings.org/content/11/1/11.full.pdf>, (Erişim Tarihi: 08.12.2014)
- [5] Kitiş, Y.E. (2011). *Isparta ili elma bahçelerinde görülen yabancı otların, yoğunlukları, kaplama alanlarının ve rastlama sıklıklarının saptanması*. Türkiye IV. Bitki Koruma Kongresi Bildirileri. 28 30 Haziran 2011, Kahramanmaraş. 490.
- [6] Üstüner, T., & Akyol, E. (2007). Niğde İli elma bahçelerindeki yabancı otların yaygınlık ve yoğunluklarının belirlenmesi. *Türkiye Herboloji Dergisi*, 10(1), 22-34.
- [7] Atkinson, D., & White G. C. (1981). *The effects of weeds and weed control on temperate fruit orchards and their environment*, In: J. M. Thresh (ed.), *Pests, pathogens and vegetation: the role of weeds and wild plants in the ecology of crop pests and diseases*, Pittman, London, 415-428.

- [8] Schupp, J. R., & Mccue, J. J. (1996). Effect of five weed control methods on growth and fruiting of McIntosh / M.7 apple trees, *J. of Tree Fruit Production*, 1, 1-14.
- [9] Eymirli, S. (2012). *Herbisitlere dayanıklılık*. <http://www.turkiyeherboloji.org.tr>. (Erişim tarihi: 18.12.2013).
- [10] Heap, I. (2022). *International survey of herbicide resistant weeds*. Annual Report, <http://www.weedscience.org>, (Erişim Tarihi: 15.04.2022)
- [11] Kaya-Altop, E., Serim A. T., Türkseven S. G., & Doğan M. N. (2018). *Distribution of horseweed species in citrus orchards and vineyards in Mediterranean and Aegean region of Turkey*, The 5th International Symposium Weeds & Invasive Plants, ISBN: 978-605-60595-8-2. P 55.
- [12] Doğan, M. N., Kaya-Altop, E., Türkseven, S. G., & Serim, A. T. (2022). Determination of glyphosate-resistant *Conyza* spp. in orchards and vineyards in Turkey. *Phytoparasitica*, <https://doi.org/10.1007/s12600-022-00982-8>
- [13] İnci, D., Galvin, L., Al-Khatib, K., & Uludağ, A. (2019). Sumatran fleabane (*Conyza sumatrensis*) resistance to glyphosate in peach orchards in Turkey, *HortScience*, 54, 873-879.
- [14] Mengüç, Ç. (2019). *Güney Marmara bölgesi meyve bahçeleri ve bağ alanlarında görülen Conyza türlerinin Glyphosate'e dayanıklılığının belirlenmesi üzerine araştırmalar*. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- [15] Hanson, B. D., Shrestha, A., & Shaner, D.L. (2009). Distribution of glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*) and relationship to cropping systems in the Central Valley of California, *Weed Science*, 57, 48–53.
- [16] Van Gessel, M.J., Scott, B.A., Johnson, Q.R., & White-Hansen, S.E. (2009). Influence of glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*) growth stage on response to glyphosate applications. *Weed Technology*, 23, 49–53.
- [17] Davis, V. M., Gibson, K. D., Bauman, T. T., Weller, S. C., & Johnson, W. G. (2009). Influence of weed management practices and crop rotation on glyphosate-resistant horseweed (*Conyza canadensis*) population dynamics and crop yield-years III and IV, *Weed Science*, 57, 417–426
- [18] Moreira, M. S., Melo, M. S. C., Carvalho, S. J. P., Nicolai, M., & Crhistoffoleti, P.J. (2010). Herbicidas alternativos para controle de biótipos de *Conyza bonariensis* e *C. canadensis* resistentes ao glyphosate *Planta Daninha*, 28(1), 167-175.
- [19] Moss, S.R., (1995). *Techniques for determining herbicide resistance*, Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference-Weeds, 547-556.
- [20] Seefeldt S. S., Jensen J. E., & Fuerst E. P. (1995) Log-logistic analysis of herbicide dose- response relationships. *Weed Technology*, 9 (2), 218–227.
- [21] Mennan, H. (2019). *Introduction to herbicide resistance*. EWRS training course on herbicide resistance detection. Antalya, Turkey.
- [22] Valentina, S., Collavo, A., Masin, R., Baric, K., & Scepanic, M. (2018). Barnyardgrass shows sensitivity to reduced doses of topramezone at different growth stages. *International Journal of Agriculture & Biology*, DOI: 10.17957/IJAB/15.0919.
- [23] Eytcheson, A. N., & Reynold, D.B. (2019). Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control as affected by application timing of glufosinate applied alone or mixed with graminicides, *Weed Technology*, 33(2), 272-279.
- [24] Sammons, R. D., & Gaines., T. A. (2013). Glyphosate resistance: State of knowledge, *Pest Management Science*, 70, 1367-1377.
- [25] Üstüner, T., & Üstüner, M. (2011). Investigation on different mulch materials and chemical control for controlling weeds in apple orchard in Turkey. *Scientific Research and Essays*, 6(19), 3979-3985.

Araştırma Makalesi - Research Article

Amfoterik Yüzey Aktif Maddelerin Şampuan Üzerinde Etkinliği

Activities of Amphoteric Surfactants on Shampoo

Pelin Döner¹, İbrahim İsmet Öztürk^{2*}

Geliş / Received: 20/04/2022

Revize / Revised: 08/06/2022

Kabul / Accepted: 10/06/2022

ÖZ

Gerçekleştirilen bu çalışmada amfoterik yüzey aktif maddelerin (YAM) şampuan üzerindeki viskozite ve köpürme etkinliği incelenmiştir. Çalışmada en sık kullanılan üç farklı amfoterik YAM seçilmiştir. Bunlar; Kokamidopropil Betain (Dehyton KE), Disodyum Koko Amfo Diasetat (Dehyton DC) ve Kapril/Kapri amidopropil Betain (Lirobet 810) şeklindedir. Hazırlanan şampuan bazı üzerine farklı oranlarda ilave edilen amfoterik YAM'ler ve NaCl ile viskozite ölçümleri yapılmıştır. Bu değerler kendi aralarında ve kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Kokamidopropil Betain amfoterik YAM'sinin diğer çalışılan iki amfoterik YAM'ye göre daha az oranda NaCl kullanılarak kıvam aldığı gözlemlenmiştir. Kendi içindeki en iyi değer ise şampuan bazı üzerine %7 (w/v) oranda Kokamidopropil Betain amfoterik YAM eklenen halidir. Çalışılan şampuan bazı üzerine eklenen farklı oranlardaki amfoterik YAM'lerin köpük seviyeleri incelenmiştir. En iyi köpürme özelliği gösteren amfoterik YAM'nin Kokamidopropil Betain olduğu tespit edilmiştir. Kendi içindeki en iyi değer ise şampuan bazı üzerine eklenen Kokamidopropil Betain amfoterik YAM'sinin %10 (w/v) oranda kullanılan halidir. Yapılan çalışmalar sonucunda hem az miktarda NaCl ilavesi ile kıvam alan hem de en iyi köpüren Kokamidopropil Betain amfoterik YAM'sinin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Şampuan, Amfoterik yüzey aktif madde, Viskozite, Köpürme*

ABSTRACT

In this study, the viscosity and foaming efficiency of amphoteric surfactants on shampoo were investigated and three most commonly used amphoteric surfactants were selected, i.e. Cocamidopropyl betaine (Dehyton KE), disodium coco ampho diacetate (Dehyton DC) and capryl/capramidopropyl betaine (Lirobet 810). Viscosity measurements of amphoteric surfactants were performed in the absence and presence of various concentrations of NaCl at different rates for the prepared shampoo base. The results found in these experiments were compared. It was observed that Cocamidopropyl Betaine amphoteric surfactant gained consistency by using less salt than the other two amphoteric surfactants studied. The best value in itself is the 7% (w/v) cocamidopropyl betaine amphoteric surfactant added to the shampoo base. The foam levels of amphoteric surfactants at different ratios added to the shampoo base studied were also investigated. It has been determined that the best foaming properties is cocamidopropyl betaine for all the amphoteric surfactant studied. The best value in itself is the 10% (w/v) use of cocamidopropyl betaine amphoteric surfactant added to the shampoo base. As a conclusion, cocamidopropyl betaine showed the best performance in terms of foams and thickens with the addition of a small amount of salt.

Keywords- *Shampoo, Amphoteric Surfactant, Viscosity, Foaming*

¹İletişim: pelindner@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-9487-5988>)

Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Süleymanpaşa, Tekirdağ

^{2*}Sorumlu yazar iletişimi: iiozturk@nku.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3164-0038>)

Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Süleymanpaşa, Tekirdağ

I. GİRİŞ

Şampuanlar; kozmetikte saç bakımının en çok kullanılan ürünleridir [1]. Günümüzde şampuanların en çok öne çıkan ve istenilen özelliği saça ve saç derisine zarar vermeden kirlilikleri uzaklaştırmasıdır. En iyi şampuan, saçın kolay taranmasını sağlayan, yumuşaklık, hacim ve parlaklık katan, yağlılığı önleme, dökülmeyi önleme, kuruluğu önleme gibi özellikler içeren ve uygulama aşamasında saçtan hem kolay uzaklaşabilen hem de kolay akmayan şampandır [2]. Şampuanlar, pek çok hammaddeden oluşmaktadır. Bunlar; su, YAM'ler, kıvamlaştırıcılar, koku vericiler, pH ayarlayıcılar, boyalar, NaCl ve diğer etken madde gibi kimyasallardır [3-4]. YAM'ler, suda veya sulu bir çözeltide çözündüğünde iki faz arasındaki yüzey gerilimini azaltarak yıkama işleminde temizleme görevi görür [5]. YAM molekülü hidrofilik ve hidrofobik bir gruptan oluşur. Kuyruk genellikle bir hidrokarbon zincirinden meydana gelmektedir [6]. Eğer hidrofobik grup bir net elektrik yükü taşıyorsa, YAM iyonik YAM olarak tanımlanır. Sodyum stearat anyonik YAM'lara örnek olarak verilebilir. Çözeltide Na^+ ve uzun stearat zincir anyonu ($\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO}^-$) sodyum stearatı oluşturur ve burada anyonik kısım yüzey aktivitesinden sorumludur [7]. YAM'ler hidrofilik olan baş kısmının yapısına göre anyonik, amfoterik, noniyonik ve katyonik YAM olarak 4 ana grupta sınıflandırılırlar [8]. Şampuan üretiminde kullanılan YAM'ler sentetik deterjan olarak da adlandırılırlar ve bu hammaddeler 12 karbonlu yağ asidi zincirlerinden oluşmaktadır [9]. Anyonik YAM'ler, çamaşır ve bulaşık makinesi deterjanlarında kullanıldığı gibi şampuanlarda da genel olarak tercih edilen YAM'dir. Katyonik YAM'ler şampuanlarda kullanımı tercih edilmez ancak yumuşatıcı özellikleri nedeniyle saç kremlerinde kullanılır [10]. Bir diğer YAM türü olan noniyonik YAM'ler, asidik ve bazik ortamdan etkilenmeyen deterjan ve şampuanlarda düşük oranda kullanılır. Çalışmada kullanılan amfoterik YAM'ler ise tahriş edici ve göz yakıcı özellikleri bulunmadığından özellikle bebek şampuanlarında kullanılmaktadır [11].

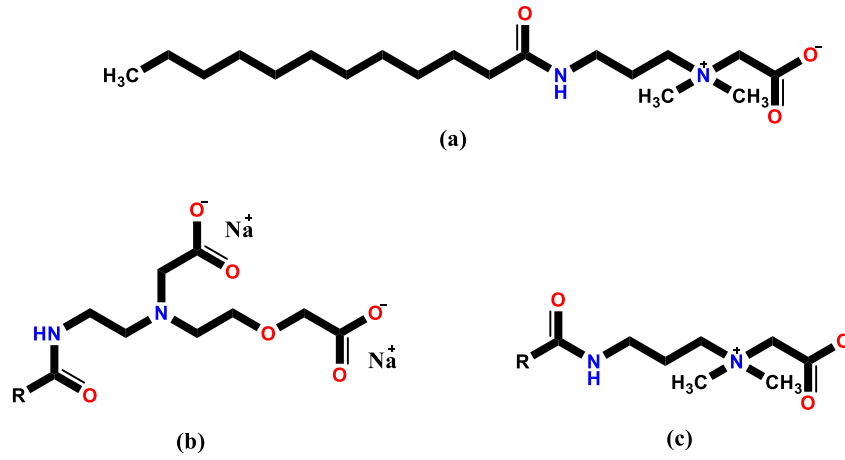
Amfoterik YAM'ler, yapılarında hidrofobik yağ zincirinin yanı sıra hem pozitif hem de negatif yüklü hidrofilik grup bulunduran YAM'lerdir. Örnek olarak alkil betain ve alkil sülfobetain gibi bileşikler verilebilir [12]. Amfoterik YAM'lerin hidrofilik grup içerisinde hem anyonik hem de katyonik kısım vardır. Anyonik ve katyonik kısımlar molekülde denge halinde olduğu taktirde deriyi tahriş edici ve göz yakıcı özellikleri yoktur [13]. Bu nedenle amfoterik YAM'ler özel şampuan ve deriyi koruyucu preparatlarda kullanılırlar [14]. Amfoterik YAM'ler 3 ana gruba ayrılmaktadır [15]. Bunlar; Açıl/dialkil etilen diamin türevleri, N-alkil amino asitler ve fosfatidler'dir. Açıl/dialkil etilen diamin türevleri, suda çözünürler ve anyonik YAM'lerin gözde oluşturduğu irritasyonu azaltmaları nedeniyle şampuanlarda sıklıkla yer alırlar [16]. Disodyum kokoamfodipropiyonat, sodyum kokoamfoasetat ve lauroamfodipropiyonik asit bu gruba ait örneklerdendir. N-alkil amino asitler, genellikle, doğal veya sentetik amino asitlerin alkillenmesi yoluyla hazırlanmaktadır [17]. Mükemmel kararlılığa sahip olan bu grup yüksek pH' da iyi köpürmekte ve emülsiyon yapıcı olarak da kullanılmaktadır. Lauraminopropiyonik asit, dihidroksietil soya glisinat, aminopropil laurilglutamid ve miristaminopropiyonik asit bu gruba verilebilecek örneklerdendir. Fosfatidler ise, Diaçilgliseridlerin fosforik asit esterleridir. En çok bilinen fosfatid lesitindir [18]. Gerçekleştirilen bu çalışmada kullanılan amfoterik YAM'ler Açıl/dialkil etilen diamin türevleri sınıfına girmektedir (Şekil 1).

Daha önce gerçekleştirilen literatür çalışmalarında kokoamid dea ile beraber NaCl kullanımının şampunaan misel şişmesi yoluyla viskozite kazandırdığı ve formülasyonlarda fazla NaCl kullanımının saç kırılmalarını arttırdığı belirlenmiştir [19]. Kozmetik ürünlerinde kullanılabilen bazı kıvamlaştırıcı maddelerin temel bir bebek şampuan formülasyonu üzerinde viskoziteye etkileri incelenmiş ve bu çalışmada tüketicinin şampuanı paketlemesinden kullanım kolaylığına kadar viskozitenin önemi vurgulanmıştır. [9].

Gerçekleştirilen bu çalışmada literatürde yer alan konsantrasyonlara oranla farklı konsantrasyonlarda amfoterik YAM'ler kullanılarak şampuanadaki viskozite ve köpük seviye etkinliği belirlenmiştir. Kıvam vermek amacıyla kullanılan NaCl'nin fazla kullanımı saçta kırılmalara sebep olmaktadır. NaCl kullanımının az olması saç sağlığı açısından önemlidir. Yapılan bu çalışmanın amacı daha az NaCl kullanarak, kendiliğinden kıvam alabilen amfoterik YAM'yi belirlemektir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneyde üç ayrı amfoterik YAM ile çalışılmıştır (Şekil 1). Kokamidopropil Betain, Disodyum Koko Amfo Diasetat ve Kapril/Kapri amidopropil Betain olarak belirlenen bu amfoterik YAM'lerin şampuan bazı üzerindeki etkinlikleri viskozimetre ve köpük yönünden incelenmiştir.



Şekil 1. (a) Kokamidopropil Betain, (b) Disodyum Koko Amfo Diasetat, (c) Kapril/Kapri amidopropil Betain amfoterik yüzey aktif maddelerinin kimyasal yapıları

A. Kullanılan Kimyasallar

Deneyde anyonik YAM olarak Basf Türk Kimya San. Tic. Ltd. Şti.'den alınan Sodyum Laureth Sülfat (Teksafon) kullanılmıştır. Amfoterik YAM'ler ise İlmor Kimya Tekstil San. Tic. Ltd. Şti.'den alınan Kokamidopropil Betain, Disodyum Koko Amfo Diaseta ve Kapril/Kapri amidopropil Betain hammaddeleridir. Kıvamlaştırıcı olarak İlmor Kimya Tekstil San. Tic. Ltd. Şti.'den temin edilen Komperlan KD hammaddesi kullanılmıştır. Koruyucu olarak Thor Specialties SRL firmasından Microcare It kullanılmıştır. Sitrik asit İlmor Kimya Tekstil San.Tic.Ltd.'den, Sodyum Hidroksit ise Tuzla Kimya San. Tic. Ltd. Şti. 'den alınarak %20 (w/v) 'lık çözeltileri hazırlanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan NaCl Ataman Kimya A.Ş'den temin edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan su ise artırılmış bidistile olarak kullanılmıştır.

B. Kullanılan Cihazlar

Radwag PS 6100.R2.M Hassas Terazı (Polonya), Thermomac TM-II-7C Mekanik karıştırıcı (ABD), Mettler Toledo Seven Compact pH meter (S210 pH metre) (ABD), Brookfield DV2T viskozimetre (ABD).

C. Şampuanların Hazırlanması

1.Kokamidopropil Betain Amfoterik Yüzey Aktif Madde İçeren Şampuanın Hazırlanması: 250 ml beher içerisinde 200 g'lık şampuan numunesi hazırlanmıştır. Öncelikle beher içerisine deiyonize su ilave edilmiştir. Su miktarı (Tablo 1 'de belirtilen yüzdelik oranlara göre) değişkenlik göstermiştir. Eklenen suya 10 g Sodyum Laureth Sülfat eklenerek karıştırıcı altında karıştırılıp çözülmesi sağlanmıştır. Kokamid DEA kıvamlaştırıcısından 4 g eklenmiştir. Çalışmada kullanılan Kokamidopropil Betain amfoterik YAM'den %1-10 (w/v) arası oranlarda eklenerek karıştırmaya devam edildi. Çözöldükten sonra koruyucu olarak kullanılan Microcare It'den 0,2 g eklenmiş ve şampuan numuneleri hazırlanmıştır. (Tablo 1'deki miktarlar yüzde oranlardır. Deneyde kullanılan 200 g fiili miktardır). Yapılan 200 g şampuan numunelerinden 100 g'ı viskozite testi, diğer 100 g'ı ise köpük testi için kullanılmıştır. Kokamidopropil Betain amfoterik YAM için %1-10 (w/v) oranlarda her biri 200 g olmak üzere toplamda 10 ayrı şampuan numunesi hazırlanmıştır.

2.Disodyum Koko Amfo Diasetat Amfoterik Yüzey Aktif Madde İçeren Şampuanın Hazırlanması: 250 ml beher içerisinde 200 g'lık şampuan numunesi hazırlanmıştır. Öncelikle beher içerisine deiyonize su ilave edilmiştir. Su miktarı (Tablo 1 'de belirtilen yüzdelik oranlara göre) değişkenlik göstermiştir. Eklenen suya 10 g Sodyum Laureth Sülfat eklenerek karıştırıcı altında karıştırılıp çözülmesi sağlanmıştır. Kokamid DEA kıvamlaştırıcısından 4 g eklenmiştir. Çalışmada kullanılan Disodyum Koko Amfo Diasetat amfoterik YAM'sinden %1-10 (w/v) arası oranlarda eklenerek karıştırmaya devam edilmiştir. Amfoterik YAM çözöndükten sonra koruyucu olarak kullanılan Microcare IT'den 0,2 g eklenmiş ve şampuan numuneleri hazırlanmıştır. (Tablo 1'deki miktarlar yüzde oranlardır. Deneyde kullanılan 200 g fiili miktardır). Yapılan 200 g şampuan numunesinden 100 g'ı viskozite testi, diğer 100 g'ı ise köpük testi için kullanılmıştır. Disodyum Koko Amfo Diasetat amfoterik YAM için %1-10 (w/v) oranlarda her biri 200 g olmak üzere toplamda 10 ayrı şampuan numunesi hazırlanmıştır.

3. Kapril/Kapri amidopropil Betain Amfoterik Yüzey Aktif Madde İçeren Şampuanın Hazırlanması: 250 ml beher içerisinde 200 g'lık şampuan numunesi hazırlanmıştır. Öncelikle beher içerisine deiyonize su eklenmiştir. Su miktarı (Tablo 1 'de belirtilen yüzdelik oranlara göre) değişkenlik göstermiştir. Eklenen suya 10 g Sodyum Laureth Sülfat eklenerek karıştırıcı altında karıştırılıp çözülmesi sağlanmıştır. Kokamid DEA kıvamlaştırıcısından 4 g eklenmiştir. Çalışmada kullanılan Kapril/Kapri amidopropil Betain amfoterik YAM'sinden %1-10 (w/v) arası oranlarda eklenerek karıştırmaya devam edilmiştir. Amfoterik YAM çözüldükten sonra koruyucu olarak kullanılan Microcare IT'den 0,2 g eklenmiştir ve şampuan numuneleri hazırlanmıştır. (Tablo 1'deki miktarlar yüzde oranlardır. Deneyde kullanılan 200 g fiili miktardır). Yapılan 200 g şampuan numunelerinden 100 g'ı viskozite testi, diğer 100 g'ı köpük testi için kullanıldı. Kapril/Kapri amidopropil Betain amfoterik YAM için %1-10 (w/v) oranlarda her biri 200 g olmak üzere toplamda 10 ayrı şampuan numunesi hazırlanmıştır.

Tablo 1. Hazırlanan şampuan formülleri

	Teksafon %70 (%) (w/v)	Kokamid DEA (%) (w/v)	Amfoterik YAM(%) (w/v)	Koruyucu (w/v)	(%)	Su (%)
1.	5	2	1	0.1		91,9
2.	5	2	2	0.1		90,9
3.	5	2	3	0.1		89,9
4.	5	2	4	0.1		88,9
5.	5	2	5	0.1		87,9
6.	5	2	6	0.1		86,9
7.	5	2	7	0.1		85,9
8.	5	2	8	0.1		84,9
9.	5	2	9	0.1		83,9
10.	5	2	10	0.1		82,9

D. Şampuan Bazı Üzerine Eklenen Amfoterik Yüzey Aktif Maddelerin Viskozite Ölçümleri

Üç ayrı amfoterik YAM'nin değişen %1-10 (w/v) arası oranı için hazırlanan şampuan numunelerinden 100 'er g'ı viskozite testi için kullanılmıştır. Öncelikle %20'lik (w/v) sitrik asit veya %20'lik (w/v) sodyum hidroksit ile pH 5,0-5,5 arasında ayarlanmıştır, daha sonra %0 (w/v), %0,25 (w/v), %0,5 (w/v) ve %1,0 (w/v) oranlarda NaCl ilavesi yapılarak 25 °C 'de 5 mil no ve 50 mil dönüş hızında viskozite ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

E. Şampuanlarda Köpük Seviye Testi

Üç ayrı amfoterik YAM'nin değişen %1-10 (w/v) arası oranı için yapılan şampuan numunelerinden diğer 100 'er g'ı köpük testi için kullanılmıştır. Amfoterik YAM içeren şampuanlardan her biri için uygulanan bu test için öncelikle 1 g şampuan numunesine 99 g deiyonize su ilave edilmiştir elde edilen bu karışımın 50 g'ı mezura alınmış ve 5 kere çalkalanmıştır. Daha sonra ilk, 3., 5., 7., ve 10. dakikada köpük seviyesi ölçümü gerçekleştirilmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, üç ayrı amfoterik YAM'nin değişen yüzde oranlarında ve değişen NaCl ilavesiyle viskozite ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu incelemeler sonucunda viskozite değerleri karşılaştırılmıştır. Piyasada olan amfoterik YAM içeren standart şampuanların viskozitesi 25 °C 'de 5 mil no ve 50 rpm mil dönüş hızıyla 3000-4000 cP viskozite ölçü aralığında olmalıdır. Bu aralığa göre ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

Tablo 2 'de üç ayrı amfoterik YAM'nin NaCl ilave edilmeden ölçülen viskozite değerleri verilmiştir. Bu değerlere göre NaCl ilavesi yapılmadan Kokamidopropyl Betaine amfoterik YAM'nin %9 (w/v) ve %10 (w/v) oranındaki miktarları kendiliğinden kıvam almaktadır. Disodyum koko Amfo Diasetat amfoterik YAM'sinin de %9 (w/v) ve %10 (w/v) oranındaki miktarları kısmen kıvam almaya başlamıştır ancak Kokamidopropyl Betaine amfoterik YAM'ye oranla daha az kıvam almıştır. Kapril /Kapri amidopropil Betain amfoterik YAM ise NaCl ilave edilmeden hiçbir oranda kıvam almadığı tespit edilmiştir.

Tablo 2. Amfoterik yüzey aktif maddelerin NaCl ilave edilmeden 5 mil no,50 rpm mil dönüş hızında viskozite (cP)değerleri karşılaştırması

	Kokamidopropyl Betaine	Disodyumkoko Amfo Diasetat	Kapril/Kapri amidopropil Betain
1	-	-	-
2	-	580	-
3	215	669,60	30,55
4	256	809,40	14,69
5	322,50	879	12,32
6	612	528	15,55
7	614	450	14,55
8	655	289	14,23
9	5900	2003	15,87
10	6230	2400	14,30

Tablo 3’de üç ayrı amfoterik YAM içeren şampuanlara %0,25 (w/v) NaCl ilavesi yapılarak viskozite karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu karşılaştırma sonucunda Kokamidopropyl Betaine amfoterik YAM’nin %7 (w/v) , %8 (w/v) , %9 (w/v) ve %10 (w/v) oranlarındaki miktarlarında kıvamlıdır. Disodyum koko Amfo Diasetat amfoterik YAM’nin ise %7 ve %8 (w/v) oranlarındaki miktarlarında kıvam almaya başlamıştır. %8 (w/v) oranındaki Disodyum koko Amfo Diasetat amfoterik YAM miktarı ile kıvamı düşmeye başlamıştır. Kapril /Kapri amidopropil Betain amfoterik YAM ise %0,25 (w/v) NaCl ilavesi ile yine istenen oranlarda kıvam almadığı gözlenmiştir.

Tablo 3. Amfoterik yüzey aktif maddelerin %0,25 (w/v) NaCl oranı ile 5 mil no,50 rpm dönüş hızı ile viskozite (cP) değerleri karşılaştırılması

		Kokamidopropyl Betaine	DisodyumKoko Amfo Diasetat	Kapril/Kapri amidopropil Betain
Amfoterik YAM oranı (w/v)	1	256	190,50	8,50
	2	351	660,60	10,60
	3	415	140	31,20
	4	356	135,70	22,56
	5	565	221,10	24,47
	6	834	800,10	36,89
	7	3100	1900	41,42
	8	3808	2190	38,60
	9	6790	669	46,50
	10	6600	660	55,54

Tablo 4'te üç ayrı amfoterik YAM içeren şampuanlara %0,5 (w/v) NaCl ilavesi yapılarak viskozite karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Kokamidopropyl Betaine amfoterik YAM'nin %4 (w/v) , %8 (w/v), %9 (w/v) ve %10 (w/v) oranlarındaki miktarlarında kıvam almıştır. Disodyum koko Amfo Diasetat amfoterik YAM'nin ise %5 (w/v) , %6 (w/v), %7 (w/v) ve %8 (w/v) oranlarındaki miktarlarında kıvam almaya başlamıştır. %8 (w/v) oranından sonra kıvamı düşmeye başlamıştır. Kapril /Kapri amidopropil Betain amfoterik YAM ise %7 (w/v) oranlarındaki miktarlarında düşük oranda da olsa kıvam almıştır. Fakat %8 (w/v) ilavesinden sonra kıvam düşmüştür.

Tablo 4. Amfoterik yüzey aktif maddelerin %0,5 (w/v) NaCl oranı ile 5 mil no, 50 rpm mil dönüş hızı ile viskozite(cP) değerleri karşılaştırılması

	Kokamidopropyl Betaine	DisodyumKoko Amfo Diasetat	Kapril/Kapri amidopropil Betain
1	523	275	42
2	641	789,60	54
3	1362	500,10	62,12
4	2060	418,80	640
5	2134	2500	680
6	5900	2900	701,12
7	5200	2800	1075,54
8	4650	2630	986,54
9	4500	209,50	812,60
10	3500	201,30	910,45

Tablo 5'te üç ayrı amfoterik YAM içeren şampuanlara %1 (w/v) NaCl ilavesi yapılarak viskozite karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Kokamidopropyl Betaine amfoterik YAM'nin %1 (w/v) , %2 (w/v) , %3 (w/v) ve %4 (w/v) oranlarındaki miktarlarında kıvam almıştır. %4 Kokamidopropyl Betaine amfoterik YAM oranından sonra kıvam düşmeye başlamıştır. Disodyum koko Amfo Diasetat amfoterik YAM'nin ise %1 (w/v) ve %2 (w/v) oranlarındaki miktarlarında kıvam almaya başlamıştır. %3 (w/v) oranından sonra kıvamı düşmeye başlamıştır. Kapril /Kapri amidopropil Betain amfoterik YAM ise %7 (w/v) ve %8 (w/v) oranlarındaki miktarlarında sonra kısmen kıvam almıştır. %8 (w/v) oranındaki miktarından sonra kıvam düşmüştür. Bunun sebebi elektrolit dengenin bozulmasından kaynaklanabilir.

Tablo 5. Amfoterik yüzey aktif maddelerin %1 (w/v) NaCl oranı ile 5 mil no,50 rpm mil dönüş hızı ile viskozite(cP)değerleri karşılaştırılması

	Kokamidopropyl Betaine	DisodyumKoko Amfo Diasetat	Kapril/Kapri amidopropil Betain
1	2192	3800	255
2	1584	3900	313
3	1125	1090	585,50
4	1812	1000	485
5	456	1390	414,40
6	358	351,40	336,50
7	236	135,10	856,60
8	200	156	845,54
9	236	226,70	312
10	156	215,50	256

Tablo 6 'da üç ayrı amfoterik YAM içeren şampuanlara köpük seviyesi testi uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda YAM oranı yükseldikçe köpük seviyesini arttığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple ölçülen değerlerden en yüksek değer olan %10 (w/v) oranı karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Kokamidopropil Betain amfoterik YAM'si en yüksek köpük seviyesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Disodyum koko Amfo Diasetat amfoterik YAM'si ise orta derecede köpük seviyesine sahip olduğu gözlemlenirken, Kapril /Kapri amidopropil Betain amfoterik YAM'sinin ise en düşük köpük seviyesine sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 6. %10 Amfoterik yüzey aktif madde içeren şampuanların köpük seviyelerinin karşılaştırması

Amfoterik YAM	İlk köpük seviyesi	3.dakikada	5. dakikada	7. dakikada	10. dakikada
Kokamidopropil Betain	42 ml	43 ml	45 ml	45 ml	46 ml
Disodyumkoko Amfo Diasetat	35 ml	33 ml	32 ml	33ml	33 ml
Kapril /Kapri amidopropil Betain	25 ml	22 ml	20 ml	20 ml	20 ml

IV. SONUÇLAR

Çalışmada kullanılan üç farklı amfoterik YAM'nin hem kendi aralarında hem de kendi içindeki farklı oranlarda kullanımı sonucunda Kokamidopropil Betain amfoterik YAM'sinin diğer çalışılan iki amfoterik YAM'ye göre daha az oranda NaCl kullanılarak kıvam aldığı gözlemlenmiştir. Kendi içindeki en iyi değer ise şampuan bazı üzerine %7 (w/v) oranında Kokamidopropil Betain amfoterik YAM eklenen halidir. Disodyum Koko Amfo Diasetat amfoterik YAM düşük oranda kullanıldığında kıvam almamıştır. NaCl ilavesi ile kıvam artmıştır. Kapril Kapramidopropil Betain amfoterik YAM ise çok fazla NaCl ilavesine rağmen istenilen kıvama

getirilememiştir. Buna bağlı olarak Kokamidopropil Betain YAM'si düşük yüzde oranıyla hem standart şampuan kıvamına gelmiş hem de az kullanımı sayesinde maliyet açısından olarak sağlamıştır. Çalışmada kullanılan şampuanların köpük seviyesi testi sonucuna göre en iyi köpürme özelliği gösteren amfoterik YAM'nin Kokamidopropil Betain 'in olduğu tespit edilmiştir. Kendi içindeki en iyi değer ise Kokamidopropil Betain amfoterik YAM'sinin %10 (w/v) oranda kullanılan halidir. Çalışma sonucuna göre Kokamidopropil Betain amfoterik YAM'nin Disodyum Koko Amfo Diasetat ve Kapril Kapramidopropil Betain amfoterik YAM'lerine göre hem viskozite hem de köpük testi için uygun amfoterik YAM olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Alessandrini, A., & Piraccini, B. M. (2016). Essential of Hair Care Cosmetics. cosmetics, 3(4), 1-10.
- [2] Tarımcı, N. (1998). Saç Bakım Ürünleri ve Şampuan Formülasyonlarında Kullanılan Maddelerin Saç ve Saçlı Derinin Yapısına Etkileri. *T. Klin. Kozmetoloji*, 1, 160-166.
- [3] Dawber, R., (1996) Shampoos – scientific basis and clinical aspects. International Congress and Symposium Series 216. The Royal Society of Medicine Press Limited, London.
- [4] Shapiro, J., Maddin, S., (1996) Medicated shampoos. *Clin Dermatol.*, 14, 123-128.
- [5] Landeck, L., Baden, L.A., John, SM. (2012). Detergents. In: Rustemeyer, T., Elsner, P., John, SM., & Maibach, H.I. (eds) *Kanerva's Occupational Dermatology*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [6] Tadros, T. (2013). Surfactant Molecule. In: Tadros, T. (eds) *Encyclopedia of Colloid and Interface Science*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [7] Ece, M. (2005). Yüzey Aktif Maddelerin Kimyasal Oksidasyon Sürecinde Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta.
- [8] Batıgöç, Ç. (2010) Yüzey Aktif Maddelerin Etkileşimlerinin Ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi (Doktora Tezi), Trakya Üniversitesi, Edirne.
- [9] Çiftçi, E. (2018). Kozmetik Ürünlerde Kullanılabilen Bazı Kıvamlaştırıcı Maddelerin Temel Bir Bebek Şampuanı Formülasyonu Üzerinde Viskoziteye Etkilerinin İncelenmesi, Gaziantep Üniversitesi Kimya Bölümü Yüksek Lisans Tezi.
- [10] Cornwell, P. A., (2018). A review of shampoo surfactant technology: consumer benefits, raw materials and recent developments, *Int. J. Cosmet. Sci.*, 40, 16-30.
- [11] Gökalp A, & Tanrikulu E. (2003). Deterjanlar. Lisans Tezi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Muradiye – Manisa.
- [12] Trüeb, R.M., (2007). Shampoos: Ingredients, efficacy and adverse effects, *J Dtsch Dermatol Ges.*, 5(5), 349-448.
- [13] Sarkar, R., Pal, A., Rakshit, A., & Saha, B., (2021). Properties and applications of amphoteric surfactant: A concise review, *Journal of Surfactants and Detergents*, 24(5), 709-730.
- [14] Lukic, M., Pantelic, I., & Savic, S. (2016) An Overview of Novel Surfactants for Formulation of Cosmetics with Certain Emphasis on Acidic Active Substances, *Tenside Surf. Det.* 53, 7-19.
- [15] Tadros, T.F., (2014) An Introduction to Surfactants, Wokingham, UK.
- [16] Rushton, H., Gummer, C. L., & Flasch, H., (1994) 2-in-1 shampoo technology: state-of-the-art shampoo and conditioner in one, *Skin Pharmacol.*, 7(1-2), 78-83.
- [17] Clendennen, S. K., Boaz, N. W., (2019) Betaine Amphoteric Surfactants—Synthesis, Properties, and Applications, *Biobased Surfactants*, 447-469.
- [18] Adışen E., Alpmen Bayraktar G., Aksakal B. A., Baydar A., Hekimoğlu S., Kışlalıoğlu S., Önder M., Özer Ö., Öztaş M. O., Öztaş P., Tarımcı N., Tırnaksız F., Yazan Y., Yener G. Ed: Yazan Y. (2004). *Kozmetik Bilimi*. s. 32- 41, 66- 74, 77- 87, 178- 195, 277- 305, 307- 327, Nobel Tıp Kitabevleri Ltd. Şti., İstanbul.
- [19] Gökçay, E. (2007) Kepeğe Karşı Etkili Şampuan Formüllerinin Hazırlanması Ve Etkinliklerinin Değerlendirilmesi, Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Farnosötik Teknoloji Anabilim Dalı Kozmetoloji Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Derleme Makale - Review Article

Tarımsal Üretimde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi Kullanım Modelleri

Computational Fluid Dynamics Usage Models in Agricultural Production

Yaşar Serhat Saygılı^{1*}, Bülent Çakmak²

Geliş / Received: 01/10/2022

Revize / Revised: 14/03/2022

Kabul / Accepted: 18/03/2022

ÖZ

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), akışkan davranışının belirlenmesini sağlayan akışkanlar mekaniğinin bir alt dalıdır. Akışkan davranışını belirlemek için kullanılan bir simülasyon yöntemi olarak tanımlanan HAD, akışkan tipi, akış hızı ve akış geometrisi gibi parametrelere bağlıdır. Gelişen teknoloji ve artan bilgisayar işlem kapasitesi ile oluşturulan simülasyonların hassasiyeti ve doğruluğu her geçen gün artmaktadır. Bu yöntem aynı zamanda tarımsal üretimde meydana gelen sorunları çözmek ve akışın her zaman olduğu bir çalışma alanı olan mevcut makine ve sistemleri iyileştirmek için de kullanılmaktadır. Katı, sıvı ve gaz ortamın sıvılarla etkileşimlerinin incelenildiği bu yöntem, tarımsal üretimin başlangıcından sonuna kadar tüm aşamalarda kullanılabilir. Bu adımlar toprak işleme, tohum ekimi, sulama, ilaçlama, hasat-harmanlama, ürün işleme, depolama ve iklimlendirme olarak sıralanabilir. Bu işlemleri gerçekleştiren makinelerin güç kaynağı olarak kullanılan traktörlerde bu yöntem ergonomik özelliklerin iyileştirilmesini sağlar. Bu yöntem ile teknolojinin kullanımının artmasıyla yaygınlaşan akıllı tarım uygulamalarında insansız hava araçlarının tarım alanları üzerindeki etkilerini incelemek mümkündür. Bu makalede, literatürde bildirilen mevcut çalışmalarda incelenmesi düşünülen çeşitli makine ve sistemler için yapılan çalışmalardan elde edilen veriler derlenerek ileride yapılacak çalışmalara örnek olması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler- *Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Bitkisel Üretim, Hayvansal Üretim, Akış, Simülasyon*

ABSTRACT

Computational fluid dynamics (CFD) is a sub-branch of fluid mechanics that provides the determination of fluid behavior. CFD, which is defined as a method of simulation used to determine fluid behavior depends on parameters, such as fluid type, flow rate, and flow geometry. The precision and accuracy of the simulations created with the help of developing technology and increasing computer processing capacity are increasing day by day. This method is also used to solve the problems that occur in agricultural production and to improve the existing machinery and systems which is a work area where the flow is always present. This method, in which the interactions of solid, liquid, and gaseous environments with fluids can be examined, can be used for all steps from the beginning to the end of agricultural production. These steps can be listed as tillage, seeding-planting, irrigation, spraying, harvest-threshing, product processing, storage, and air conditioning. In tractors, which are used as the power source of the machines that perform these processes, this method enables the improvement of ergonomic features. This method makes it possible to examine the effects of unmanned aerial vehicles on agricultural areas in smart agriculture applications that have become widespread with the increasing use of technology. This article

^{1*}Sorumlu yazar iletişimi: yasar.serhat.saygili@ege.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-6974-3820>)

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, İzmir, Türkiye.

²İletişim: bulent.cakmak@ege.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-3587-0933>)

Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, İzmir, Türkiye.

aims to be an example for future studies by compiling the data obtained from the studies carried out for the various machines and systems examined in the existing studies reported in the literature.

Keywords- Computational Fluid Dynamics, Plant Production, Animal Production, Flow, Simulation

I. GİRİŞ

Akışkanlar mekaniğinin bir alt dalı olarak kabul edilen Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi, akışkan kaynaklı problemlerin nümerik algoritmalar ile çözüm yöntemi olarak tanımlanmaktadır [1]. HAD, özellikle akış içeren (sıvı ve gaz) proseslerde çoğunlukla kullanılan bir simülasyon aracı olarak tanımlanmaktadır [2,3]. Bu yöntem çoğunlukla, akışkanın akışı, ısı ve kütle hareketlerini içeren taşınım işlevlerinin tüm çeşitlerinin çalışma davranışlarını belirlemede kullanılır. Ancak akışkan davranışlarının analitik denklemler yardımıyla çözümlenmesi her zaman gerçekleşmeyebilir. Bu gibi durumlarda çözüm için sayısal yaklaşımlar kullanabilmektedir. Analitik metotlar genellikle matematiksel fonksiyonlar şeklinde çözümler üretmekteyken, nümerik çözümlerde genellikle sayısal sonuçlar elde edilebilmektedir. Elde edilen bu sonuçlar gerçekleşen sonuçlara çok yakın ve istenilen ölçüde hassaslaştırılabilir düzeydedir. Daha hassas sonuçlar istenmesi durumunda bilgisayarın çözeceği işlem sayısında artışa neden olmakta ve bu durum hem bilgisayarı zorlamakta hem de çözüm için uzun zaman gerektirmektedir. HAD kullanılarak yapılan çalışmaların başlangıcı 1920'li yıllarda sayısal analizlerin araştırılmasına kadar uzanmasına rağmen, gelişen teknoloji ve artan bilgisayar kullanımına bağlı olarak, özellikle 1990'lerden sonra HAD metodu ile çözümler üretilmesindeki artışın yüksek olduğu görülmektedir [3]. Bu duruma yol açan etmenler bilgisayarların işlem kapasitelerinin, hızlarının ve güçlerinin gün geçtikçe daha iyi seviyelere gelmesi ile deney/test düzeneklerinin maliyetlerinin yüksek olması ve deney/test yardımıyla veri elde edilmesinin uzun süreler alması olarak açıklanabilmektedir. Yüksek hızlı süper bilgisayarların geliştirilmesi ile çözümü zor ve karmaşık akış problemleri daha kolay çözüme ulaştırılabilmektedir. Bu durum çözüm aşamasında HAD metodunun bilgisayar ile akışkan problemleri arasında temel köprü vazifesini görmesini sağlamaktadır [4].

HAD metodunu kullanarak simülasyonlar ve sayısal çözümler sunan farklı firmalara ait yazılımlar ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan ANSYS FLUENT, ANSYS CFX, PHOENICS, Autodesk CFD, OpenFoam CFD, Solidworks Flow Simulation, COMSOL, Star-CCM+, POLYFLOW, simFlow, Abaqus/CFD, ICEM CFD, PAM-FLOW, CFD++ gibi birçok program bulunmaktadır [5]. Oluşturulan bu paket programlar simülasyonlarını gerçekleştirirken, akışkanların akışı ve ısı transferini çözümleneyen denklemler ile akışkanlar mekaniğinde yer alan temel korunum yasalarının matematiksel eşitliklerinden yararlanmakta ve bu eşitlikler Navier-Stokes denklemleri olarak bilinmektedir [5, 6]. Bu eşitlikler, kütle korunumu (süreklilik denklemi), Momentumun korunumu (Newton'un 2. Hareket kanunu) ve enerjinin korunumu (termodinamiğin birinci yasası) olarak söylenebilmektedir [7].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} [-\rho \delta_{ij} + \mu (\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i})] + \rho g_i \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho C_a T) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j C_a T) - \frac{\partial}{\partial x_j} (\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j}) = S_t \quad (3)$$

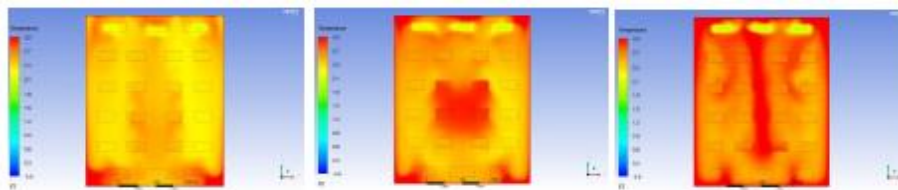
Kullanılacak programlarda oluşturulacak simülasyonlarda ortaya çıkan verilerin doğru ve etkin olabilmesi için belirli basamakların tamamlanmış olması gerekmektedir. Bu basamaklar, modellenmenin ve simülasyon işleminin amacının belirlenmesi, analiz için kullanılacak bölgenin belirlenmesi, belirlenen bölgenin çizimi, mesh oluşturma, ortam koşulları ile akışkan özellikleri tanımlanması, sınır koşulları tanımlanması, çözüm modeli belirlenmesi, sistem çözümlenmesi ve sonuç verilerinin değerlendirilmesi olarak sıralanabilmektedir [7]. Simülasyon işleminin gerçekleştirilebilmesi için hedeflenen sonuçların ne olacağı belirlenmeli ve buna göre akışın türü, çalışma koşulları ve akışın etki alanı gibi girdiler belirlenmelidir. Girdi verilerinin sonucunda simülasyonun akışın neresinde oluşturulacağını belirten sınırlar belirlenmelidir. Elde edilen veriler ışığında bilgisayar destekli tasarım programları yardımıyla simülasyonun gerçekleştirileceği bölgeyi içeren bir geometrik model oluşturulmalıdır. Oluşturulan geometrik modelle birlikte simülasyonda kullanılacak matematiksel modellenimin

çözümlerini gerçekleştirecek olan mesh (ağ) yapı oluşturulmalıdır. Oluşturulan geometrik modelde uygulanacak mesh kalitesi, simülasyondan elde edilen sonuçlara doğrudan etki edeceği ve analiz süresine etki edeceği göz önünde bulundurulmalıdır. Çözümlemenin gerçekleştirilebilmesi için akışkan özellikleri (yoğunluk, viskozite vb.) ve proses özellikleri (faz oluşum sayısı, ısı enerjisi değişim durumu) programa eklenmelidir. Simülasyonun gerçekleştirileceği akış alanının sınır koşulları (akış giriş-çıkış yönü, basınç-sıcaklık-debi değerleri vb.) eklenmelidir. Oluşturulan simülasyon için akış durumuna (laminer, geçiş ve türbülans) uygun çözümlemenin gerçekleşmesini sağlayacak model tipi seçilmelidir. Kullanılan modeller, laminer, Spalart-Allmaras, k- ϵ (standart, RNG, Realizable), k- ω (standart, Shear-Stress Transport (SST)), Reynould Stress Model (RMS) ve Large Eddy Simulation model olarak sıralanabilir [3,7,8]. Girdi veriler sonucunda oluşturulan simülasyondan elde edilen sonuçlar, yakınsama kriterleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir. Oluşturulan simülasyonla elde edilen matematiksel sonuçların yanı sıra akışın özellikleri görsel ya da animasyon çıktısı olarak da elde edilebilmektedir [3,7].

HAD metodu çok çeşitli alanlar için ve farklı mühendislik çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar inşaat, makine, kimya, otomotiv, gıda işleme gibi mühendislik bilimleri, havacılık ve uzay sanayi, nükleer endüstri ve biyomedikal uygulamalar olarak sayılabilmektedir. Son yıllarda her sektör ve bilim dalı için teknoloji kullanımının yaygınlaşması ve bilişim teknolojilerinin kullanılarak işlemlerin yapay zekâyla desteklenmesi ile kullanılan uygulamalar akıllı hale gelmeye başlamıştır. Tarımsal üretim işlemlerinde verimin ve üretim miktarının artırılması amacıyla yapılan bilimsel çalışmalar teknoloji kullanımını da beraberinde getirmektedir. Kullanılan teknolojinin kapsadığı ölçüm cihazları ve sensörlerle saha çalışmaları yapmadan önce HAD metodu ile veri elde etmek artan maliyetleri azaltma açısından önemli bir olgudur. Her türlü akışkan (katı-sıvı-gaz) ve akış durumu (katı-katı, katı-sıvı, katı-gaz, sıvı-sıvı, sıvı-gaz ve gaz-gaz) için uygulanabilen bu metod tarım işletmelerinin problemlerini çözmede değerli veriler elde edilmesinde kullanılması önemlidir. Bu çalışmada ise literatür çalışmalarından elde edilen bilgiler ışığında HAD metodunun tarımsal üretimde kullanılabileceği alanlar ve bu alanlardan çalışmalar derlenmiştir.

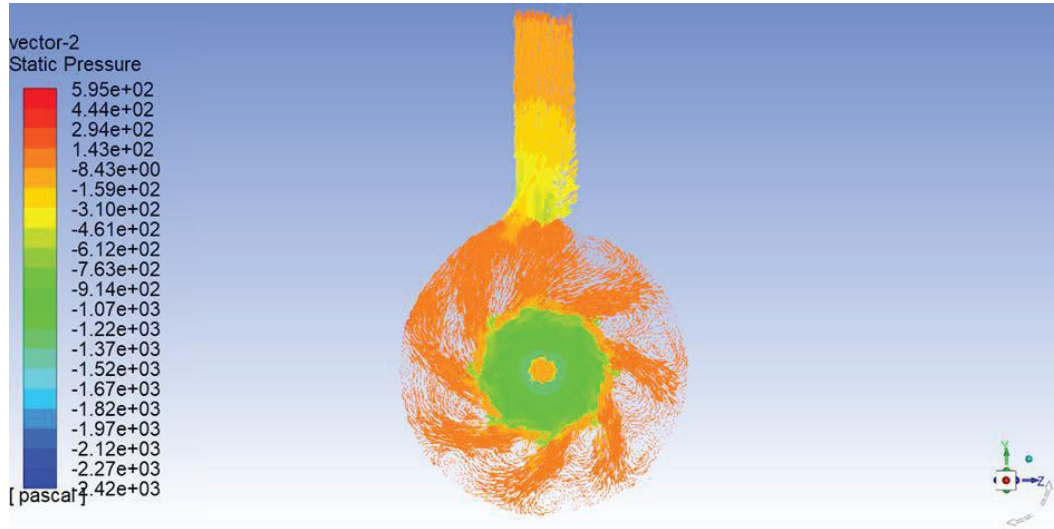
II. TARIMDA HAD KULLANIMI

Her türlü akışkan ve akış durumu için çözümlemelerin yapılabildiği HAD metodunun tarımsal üretimde kullanımı son yıllarda yaygınlaşmaktadır. Yapılan literatür taraması sonucunda bulunan makalelerden elde edilen verilere göre bu yöntemin tarımsal üretimde aşağıda verilen makineler ve prosesler için kullanılabileceği ön görülmektedir. Tarımsal üretimde, traktörler, toprak işleme makinaları, ekim makinaları, hasat ve harman makinaları, ilaçlama ve bitki bakım makinaları, sulama makinaları ve sistemleri (Şekil 2), kurutma makinaları ve ürün işleme makinaları, sera gibi kapalı tarım üretim alanları (Şekil 1) ve insansız hava aracı (İHA), uçak gibi hava taşıtlarının geliştirilmesi olarak sıralamak mümkündür (Tablo 1).



Şekil 1. Kapalı tarım alanlarında sıcaklık dağılımının HAD ile simülasyonu [9].

Traktör kabini havalandırma ve iklimlendirmesi gibi ergonomik problemlerin çözülmesi ile traktör egzoz gazı dağılımının ve optimum tasarım parametrelerinin değerlendirilmesi bu yöntemin kullanılabileceği alanlardandır. Ekim makinalarında tohum akışının ve dağılımının optimize edilmesinde ve makine tasarımının iyileştirilmesi çalışmalarında, hasat ve harman makinalarının çalışma koşullarının ve ürün kalitesinin iyileştirilmesinde bu yöntem kullanılabilir. Bitkilerin zararlılardan korunması için yapılan ilaçlama işlemlerinin etkinliklerinin artması ve pestisit kullanımının azaltılması için ilaçlama makinaları ve sistemlerinin modellerinin oluşturulması ve analizinde HAD metodu kullanımı uygundur. Sulama sistemleri ve makinalarının etkinliklerinin artırılması amacıyla HAD metodu kullanılması etkin su yönetimi sağlamaktadır. Elde edilen ürünlerin uzun süre ve özelliklerini yitirmeden korunabilmesi için uygulanan kurutma ve ürün işleme makinalarının optimizasyonu için HAD metodu kullanılması ürün kaybının minimize ederek karlılığın artışına katkıda bulunabilmektedir.



Şekil 2. Santrifüj pompada basınç dağılımının HAD ile simülasyonu [10].

HAD metodu mühendislikte planlama için ileri bir tekniktir. Hayvan barınaklarının havalandırılmasında olduğu gibi tarımsal çalışmaların diğer alanlarında kullanılması hızlı bir şekilde artmaktadır ve sera yapılarının aerodinamik dayanımlarının deneylerinde de kullanılmaktadır [11]. Ayrıca ürünlerin depolandığı alanlarda oluşturulacak gerekli iklim koşullarının iyileştirilmesinde bu yöntem etkin olarak kullanılmaktadır. Tarım 4.0 ile hayatımıza giren ve akıllı tarım uygulamalarında farklı amaçlarla kullanılan İHA'ların bitkiler ve çevre ile etkileşimlerinin belirlenmesinde HAD metodu kullanımı ve simülasyonlarda doğru veriler elde edilmesi mümkündür.

Tablo 1. Tarımsal üretimde HAD kullanımına yönelik çalışmalar.

Makine-Sistem	HAD Kullanım Amacı	Kullanılan HAD Yazılımı	Kaynak
Traktör	Kabin ortam şartlarının belirlenmesi	ANSYS Fluent	Akdemir ve ark., 2016 [12].
	Egzoz gazı dağılımının sürücüyeye etkisinin belirlenmesi	Solidworks	Jurco et al., 2018 [13].
	Kabin içindeki termal konfor şartlarının belirlenmesi ve teyidi	STAR-CCM+	Oh et al., 2020 [14].
Toprak İşleme Makinaları	Toprak işleme makinalarının toprak ile etkileşimlerinin simülasyon ile doğrulanması	ANSYS CFX	Karmakar et al., 2009 [15].
	Döner kulaklı pulluk ve toprak etkileşiminin belirlenmesi ve simülasyonla doğrulanması	ANSYS Fluent	Zhu et al., 2016 [16].
	Döner kulaklı pullukla yüksek hızlarda yapılan toprak işleminin modellenmesi ve toprak-pulluk etkileşiminin belirlenmesi	ANSYS Fluent	Wei et al., 2019 [17].

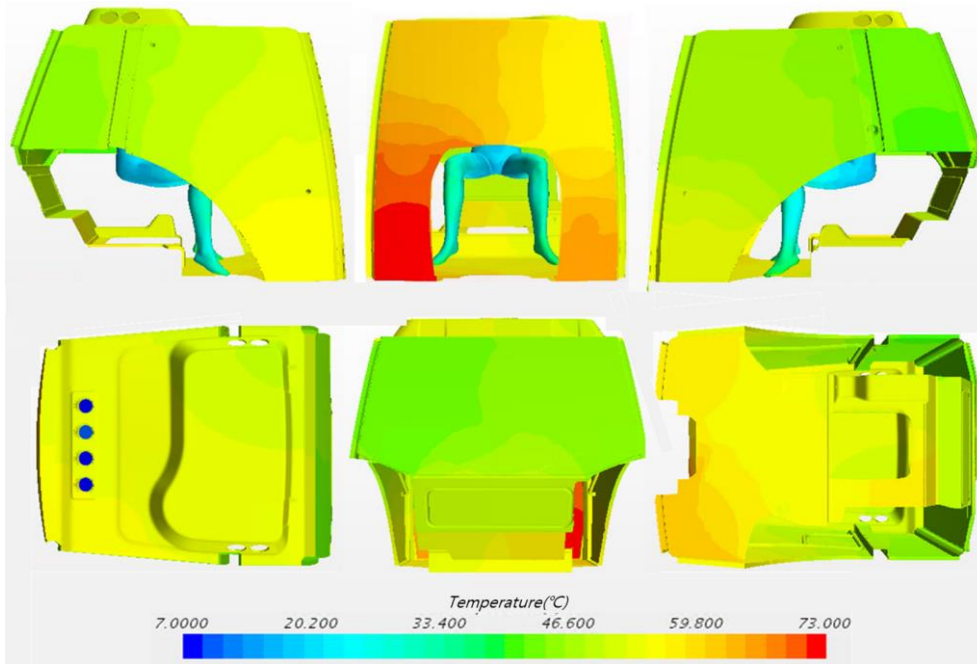
Tablo 1. (Devam)

Ekim Makinaları	Kolza tohumu ve buğday için AEM-HAD birleştirme yaklaşımı ile tohum besleme cihazında tohum hareketinin simülasyonunun belirlenmesi	ANSYS Fluent	Lei <i>et al.</i> , 2016 [18].
	Tarla koşullarında hassas vakumlu ekicilerden pestisit tozu sürüklenmesinin bir Eulerian-Lagrange 3D (HAD) modeli geliştirilmesi	ANSYS CFX	Devarreware <i>et al.</i> , 2018 [19].
	Mısır hassas ekim cihazında gaz-katı akışının simülasyonunu AEM ve HAD yöntemleriyle simülasyonu	ANSYS Fluent	Han <i>et al.</i> , 2018 [20].
	Gelişmiş tohum aralığı ile toprağa tohum katılımı sağlayabilen farklı tohum tüplerinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) tabanlı simülasyonları ve görselleştirilmiş tohum yörüngelerini karşılaştırılması ve yörüngeleri ile vakum diskinin çevresel hızı arasındaki ilişkinin belirlenmesi	ANSYS Fluent	Yazgı <i>et al.</i> , 2020 [21].
	HAD ve AEM birleştirme yaklaşımı destekli tohum dağıtım başlığında kolza tohumu hareketlerinin iki fazlı akışla matematiksel modelinin oluşturulması	ANSYS Fluent	Hu <i>et al.</i> , 2021 [22].
	Tek tip ezilmiş saman atma ve tohum ekim makinelerinde taşıma cihazının HAD-AEM bağlantılı yaklaşım kullanılarak simülasyon analizi ve deneysel doğrulaması	ANSYS Fluent	Fenghwei <i>et al.</i> , 2022 [23].
Hasat Harman Makinaları	Harmanlama işleminde dane kayıplarının azaltılması ve farklı çalışma şartları altındaki ürünlerin davranışlarını incelenmesi	ANSYS Fluent	Lim <i>et al.</i> , 2015 [24].
	Harmanlama işleminde dane kayıplarını azaltmak için uygun simülasyonu oluşturulması	ANSYS Fluent	Dai <i>et al.</i> , 2019 [25].
	Pirinç biçerdöverdeki çok kanallı bir temizleme cihazının optimizasyonu	ANSYS Fluent	Liang <i>et al.</i> , 2020 [26].
	Pirinç biçerdöverlerin temizleme performansını tahmin etmek için gaz-katı iki fazlı akışın sayısal simülasyonunu oluşturulması	ANSYS Fluent	Xu <i>et al.</i> , 2020 [27].
	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak kendinden tahrikli bir yerfıstığı hasadında toz difüzyonunun analizi	ANSYS Fluent	Xu <i>et al.</i> , 2022 [28].
İlaçlama ve Bitki Bakım Makinaları	Hava destekli meyve bahçesi püskürtücüsünden armut bahçesine doğru pestisit sprey akışı ve farklı çevresel sistemlerde birikimin, yeni bir entegre hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yaklaşımı kullanılarak tahminlenmesi	ANSYS	Endalew <i>et al.</i> , 2010 [29].
	Hava destekli bir pestisit püskürtücü tarafından üflenen ağaç gölgeliklerinin içindeki ve etrafındaki hava hızı dağılımlarını tahminlenmesi	ANSYS Fluent	Hong <i>et al.</i> , 2018 [30].
	Pirinç ilaçlamasında azot kayıplarının azaltmak üzere bir jet nozül tasarlamak	ANSYS Fluent	Zheng <i>et al.</i> , 2019 [31].
	Tarımsal gübre serpmeye makinesinde 4000 rpm devirde kullanılan iki farklı tip radyal fanın sayısal ve deneysel karşılaştırması	ANSYS CFX	Fogal <i>et al.</i> , 2021 [32].
Sulama Makinaları ve Sistemleri	Su kısıtlaması altında bir serada yetiştirilen süs bitkilerinin mikro ikliminin ve terlemesinin simülasyonu	ANSYS Fluent	Ali <i>et al.</i> , 2018 [33].
	Farklı kalınlıklara sahip damlama sulama borularında aynı damlatıcı kullanılması durumunda, damlatıcı hidrolik özelliklerinin tasarıma etkisinin belirlenmesi	ANSYS Fluent	Demir <i>et al.</i> , 2019 [34].

Tablo 1. (Devam)

Kurutma ve Ürün İşleme Makinaları	Kayıp kurutma işleminde ısı ve kütle transferinin HAD ile modellenmesi	ANSYS Fluent	Carlescu <i>et al.</i> , 2017 [35].
	Deneysel kurutulmuş elma dilimlerinin dehidrasyonu sayısal analiz programı ile simülasyonu	COMSOL Multiphysics	Aliç ve Daş, 2019 [36].
	Tohum kurutması için bir pilot tesis tasarımı	ANSYS Fluent	Arsenoaia <i>et al.</i> , 2019 [5].
	Gıdaların kurutulmasında kullanılan türbülans modelleri ve kurutma yöntemlerinin karşılaştırılması	ANSYS Fluent, ANSYS CFX, COMSOL Multiphysics, OpenFOAM CFD	Malekjani and Jafari, 2018 [6].
Kapalı tarım alanlarının iklimlendirilmesi ve havalandırılması	Bir test odasında sıcaklık ve nem dağılımını incelemek ve tarımsal ürünlerin daha uzun sürelerle ekonomik olarak saklanabilmesi için önerilerde bulunulması	ANSYS CFX	Akdemir <i>vd.</i> , 2012 [37].
	Üç tip serada, doğal havalandırma çalışması için geçici bir HAD-2D modelinin kullanımı	ANSYS Fluent	Villagrán <i>et al.</i> , 2019 [38].
	Doğal havalandırılmış binaların iç hava akışının modellenmesi ve hava akış oranlarının belirlenmesi	OpenFOAM CFD	Kim <i>et al.</i> , 2020 [39].
	Sensör destekli sera iklimlendirmesinin HAD metodu ile doğrulanması	ANSYS Fluent	Cheng <i>et al.</i> , 2021 [40].
	Tarımsal üretim binalarında doğal havalandırmanın farklı türbülans modellerine göre karşılaştırılması	OpenFOAM CFD	Hong <i>et al.</i> , 2017 [41].
	Baca gazı ve sıcak su ısı emici boru ağları kullanılarak sera ısıtmasının HAD analizi	ANSYS Fluent	Dhiman <i>et al.</i> , 2019 [42].
	HAD metodu kullanarak harici karıştırma işleminin biyogaz üretim tesisinde optimizasyonu	OpenFOAM CFD	Müller <i>et al.</i> , 2020 [43].
	Ticari domuz binasının tam ölçekli HAD simülasyonu ve hayvanların yaşadığı bölgenin gözenekli ortam yaklaşımıyla karşılaştırılması	ANSYS Fluent	Guatam <i>et al.</i> , 2021 [44].
	Süt ineği ahırları için farklı mekanik havalandırma sistemlerinin karşılaştırılmasında HAD simülasyonları kullanılması ve saha ölçümleri ile karşılaştırılması	ANSYS Fluent	Pakari and Ghani, 2021 [45].
	Bir soğuk hava deposunda farklı menfez kanat açılırlarına göre hava dağılımını hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile tahmini	ANSYS Fluent	Akdemir, 2016 [46].
Hava taşıtları	HAD metodu ile tarımsal amaçlı kullanılacak bir hava aracının kavramsal tasarımının geliştirilmesi	ANSYS CFX	Bravo-Mosquera <i>et al.</i> , 2018 [47].
	Dikey rotorlu İHA'ların tarım ürünlerine hava taşınımı üzerinden etkilerinin incelenmesi	ANSYS	Yang <i>et al.</i> , 2020 [48].
	Gelişmiş aerodinamik verimlilik ve performansa sahip oktokopter İHA'ların tasarımı ve değerlendirilmesi	ANSYS Fluent	Zhu <i>et al.</i> , 2020 [49].
	Tarımsal amaçlı kullanılan İHA'larda tek bir rotor kanadı tarafından oluşturulan aşağı yönlü hava akışının ortalama ve türbülanslı akış özelliklerinin incelenmesi		Shouji <i>et al.</i> , 2021 [50].

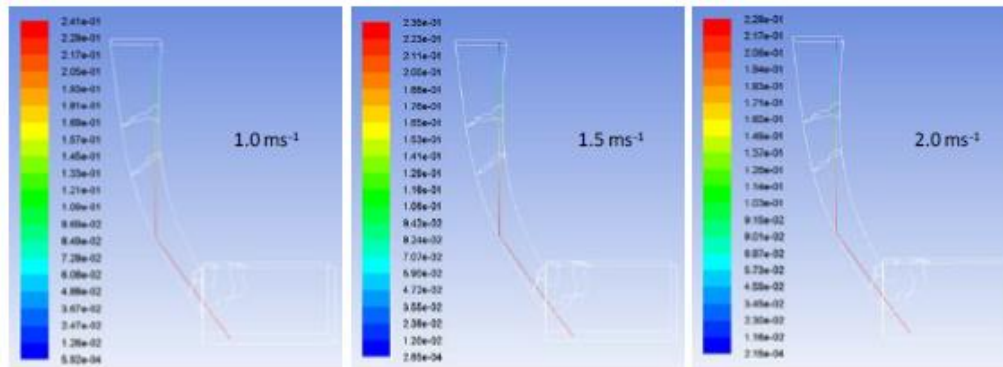
1) *Traktörler üzerine yapılan çalışmalar:* Traktörler tarımsal işlemler için kullanılan başlıca güç kaynağıdır. Kabin içindeki klimadan çıkan havanın sıcaklık ve hava hızı değişimlerini ortaya koymak amacıyla Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi kullanılarak modellemeler yaparak kabin içerisindeki sıcaklık ve hava hızının dağılımlarını belirlemişlerdir. Ayrıca modelin geçerliliğini test etmek ve daha geçerli modeller geliştirebilmek amacıyla aynı noktalardan alınan ölçüm değerleri ile model değerlerini karşılaştırmışlardır [12]. Orta büyüklükteki bir traktörün egzoz borusunun optimum konumunu belirleme için yaptıkları çalışmada Solidworks programı ile yapmış oldukları traktör tasarımının iki farklı koşul altındaki durumunu incelemişlerdir. Bu çalışmada, kabinsiz orta büyüklükteki traktörlerin sürücüleri için çalışma koşullarının iyileştirilmesini amaçlamışlardır [13]. Akış analizi yardımıyla termal konfor düzeyini simüle etmişler ve bir traktör kabini içindeki klimanın en uygun konumu belirlemişlerdir (Şekil 3). Termal dengede altında sıcaklık verilerini elde edebilmek için traktörün çevre odasındaki ısıtma testini gerçekleştirmişler ve elde ettikleri sonuçları simülasyonda sınır koşulu olarak kullanmışlardır [14].



Şekil 3. Traktör Kabininde sıcaklık dağılımının HAD ile simülasyonu [14]

2) *Toprak İşleme Makinalarında Yapılan Çalışmalar:* Toprak işleme makinaları işleyici organlarının toprakla etkileşimlerini incelemek üzere yaptıkları çalışmada dikey bir bıçağı toprak içerisinde ilerleterek incelemişlerdir. Farklı toprak çeşitleri ve ilerleme hızları için yaptıkları denemeleri, oluşturdukları simülasyonlar ile karşılaştırmışlardır [15]. Yatay tersinir pulluklar üzerinde yaptıkları çalışmada çekme direncinin pulluk okunda oluşturduğu olumsuzlukları gidermek için iyileştirmeler yapmak üzere HAD metodunu kullanmışlardır. Farklı toprak işleme derinlikleri ve ilerleme hızlarında yaptıkları denemelerden elde ettikleri verileri oluşturdukları simülasyonlardan elde ettikleri verilerle karşılaştırmışlardır [16]. Farklı toprak işleme hızları ve derinlikleri için HAD ve AEM(Ayrık elemanlar metodu) metotları tabanlı simülasyonlar yaparak pullukların toprakla etkileşimlerini incelemişlerdir. HAD metodu ile toprakla etkileşimini, SEM kullanarak da işleyici elemanlardaki aşınma durumunu araştırmışlardır [17].

3) *Ekim Makinalarında Yapılan Çalışmalar:* Hava destekli merkezi ölçüm sisteminin tohum besleme cihazında gaz-katı akışının sayısal bir çalışmasını, ayrık eleman yöntemi (AEM) ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) birleştirme yaklaşımı ile gerçekleştirmişlerdir. Boğaz alanı, boğaz uzunluğu, hava akışı giriş hızı ve tohum besleme hızının etkilerini çalışmışlar ve gaz alanı ve tohum hareketi açısından analiz etmişlerdir [18]. Tarla koşullarında hassas vakumlu ekicilerin oluşturduğu pestisit tozu sürüklenmesini incelemek üzere bir üç boyutlu hesaplamalı akışkan dinamiği modeli geliştirmişlerdir. Traktör ve ekici modellerini, alanı ve kenarlarını temsil eden modeli atmosferik bir hesaplama alanına yerleştirmişler ve mısır tohumlarından aşındırılan tozun fizikokimyasal özelliklerini (parçacık boyutu, şekli, gözeneklilik, yoğunluk), ekici fan çıkışlarındaki toz emisyon oranlarını ve egzoz hava hızı değerlerini deneysel olarak ölçmüş ve modelle karşılaştırmışlardır. Farklı rüzgâr koşulları, toz özellikleri, ekici tasarımları ve vakum basınçları ile çeşitli mısır ekim senaryolarını simüle etmişlerdir [19]. Mısır hassas tohum ölçme cihazında gaz-katı akış simülasyonunu, ayrık eleman yöntemi (AEM) ve hesaplamalı akışkan dinamiğini (HAD) metotlarının birleşimi yaklaşımı aracılığıyla gerçekleştirmişlerdir. Yanal deliğin pozisyonlarını, genişliğini ve ortalama yay uzunluğunun etkilerini incelemişlerdir ve gaz alanı ve tohum hareketi açısından analiz etmişlerdir [20]. Gelişmiş tohum aralığı ile toprağa tohum ekimini sağlayabilen farklı tohum tüplerinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) tabanlı simülasyon oluşturmuşlar ve gözelleştirilmiş tohum yörüngelerini kullanarak karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada ayrıca tohum yörüngeleri ile vakum diskinin çevresel hızı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmalarında farklı tohumlar, ilerleme hızları ve farklı serbest bırakma noktalarını kullanmışlardır (Şekil 4). Tohum tüplerini modellemişler ve tohumların tohum tüplerine bırakılması HAD kullanılarak simüle etmişlerdir [21].



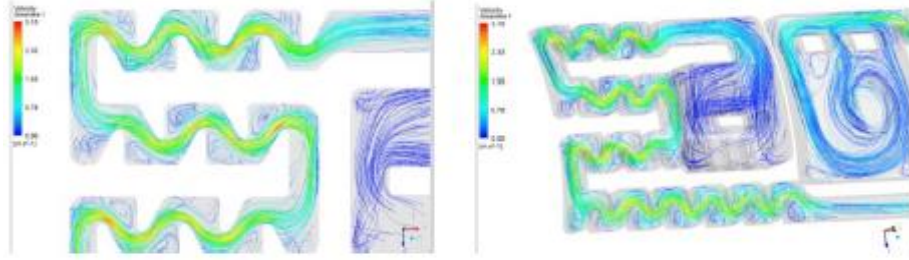
Şekil 4. Ekim makinelerinde tohum düşüş hızının HAD ile simülasyonu [21]

4) *Hasat ve Harman Makinalarında Yapılan Çalışmalar*: *Jatropha* (Hint Fıstığı) bitkisinin yağ açısından zengin olan çekirdeklerini ayıklamak ve soymak için kullanılan bir makinenin performans değerlendirmesini yapmışlardır. Tasarladıkları makineyi, farklı üfleyici hava hızlarında ve meyve nemi içeriklerinde test etmişlerdir. Sistemi simüle etmek için HAD metodunu kullanmışlardır. Makine denemeleri sırasında hafif olan kabukların üfleyici yardımıyla ayrılabilceğini ve değişik hava hızlarının bu değeri etkilediğini bildirmişlerdir [24]. Biçerdöver üzerinde, konik harmanlama cihazının çalışma performansını iyileştirmek ve cihazda kalan tohumları azaltmak için, makine içerisindeki malzemelerin hareket sürecini HAD-AEM yöntemi kullanarak simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Farklı tutma türlerindeki hareket yörüngelerini ve parçacık formlarını da incelemişlerdir. Dahili akış geçidindeki dinamik ve statik hesaplama alanı modellemesinde HAD metodunu kullanmışlardır. Oluşturdukları simülasyon sonuçlarına göre, hava akışının etkisi altındaki partiküllerin ve kısa sapların aksel yönde harmanlanmasının ve aktarılmasının gerçekleştirilebileceğini bildirmişlerdir [25]. Bir pirinç biçerdöverinde çok kanallı bir temizleme cihazını optimize etmek üzere farklı fan kanalları için eşdeğer dirençleri, akışkanlaştırılmış tahılın bir direnç modelini ve temizleme eleği için bir hava akışı direnci modelini kullanarak denemeler yapmışlardır. Katı modelini oluşturdukları tasarımın HAD simülasyonunu oluşturmuşlardır. Çalışma yüklerinin kanallardaki hava akış hızı ve hacim dağılımına ve fan içindeki toplam basınç dağılımına etkilerini simülasyon ve deneylerle incelemişlerdir. Çalışma yüklerini simüle etmek için farklı açılma oranlarına sahip delikli plakalar tasarlamışlardır. Bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) modeliyle oluşturdukları simülasyon sonuçlarını sıcak telli anemometre ölçümleriyle karşılaştırılarak doğrulamışlardır [26]. Pirinç hasat ve harmanında kullanılan bir biçerdöver, farklı çalışma koşulları altında HAD-AEM kullanarak oluşturulan simülasyonlar, deneyler sonucunda elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda biçerdöverin dane kayıpları ve tohum temizleme performansı matematiksel modelleme ile açıklanmıştır [27].

5) *İlaçlama ve Bitki Bakım Makinalarında Yapılan Çalışmalar*: Hava destekli meyve bahçesi püskürtücüsünden armut bahçesine doğru pestisit sprey akışını ve farklı çevresel sistemlerde birikimini, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yaklaşımı kullanılarak simüle etmişlerdir. Modelde hedef meyve bahçesi kanopisini ve komşu ortam ile püskürtücüden gelen rüzgârı, hava ve sprey akışı arasındaki karmaşık etkileşimlerin incelenmesidir. HAD simülasyonu, hava ve sprey akışı üzerindeki etkisini ve damlacıkların dallar üzerinde birikmesini simüle etmek için gerçek 3D kanopi mimarisinin modele dahil edilmesini içermektedir. Yaprakların etkisini temsil etmek için dalların etrafında oluşturulan ayrıntılı bir alt alanda temel momentum ve türbülans denklemlerine kaynak-yutak terimlerini eklemişlerdir. Sprey damlacıklarını atomizasyon modelinden üretmişler ve bir Lagrange partikül taşıma modeli kullanılarak izlemişlerdir [29]. Hava destekli bir pestisit püskürtücü tarafından üflenen akışkanın ağaç gölgeliklerinin içindeki ve etrafındaki hava hızı dağılımlarını tahmin etmek için entegre bir HAD modeli geliştirmişlerdir. HAD modelinin teyidini, HAD sonuçlarının önceki ölçümlerle karşılaştırılarak sağlamışlardır. HAD modelinin geçerliliğini, hesaplanan sonuçların önceki ölçüm çalışmalarıyla karşılaştırılmasıyla üç adımda gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, HAD simülasyonunun, hava destekli püskürtücülerden gelen hava dağılımlarına ilişkin makul bir tahminde bulunabileceği sonucuna varmışlardır [30]. Pirinç üretiminde yapılan kimyasal gübre uygulamalarında kullanılan mevcut yöntemlerin, buharlaşma yoluyla önemli miktarda azot kayıplarına neden olduğunu bildirmiştir. Yaptıkları çalışmada bu sorunu minimize etmek üzere sıvı gübre enjeksiyonu için bir sıvı jet nozülün geliştirmişlerdir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği metodunu yardımıyla memenin kritik tasarım parametrelerini kullanarak bir simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları bu simülasyonu testlerle doğrulamışlar ve sıvı püskürtme memesinin performansını üre Amonyum Nitrat çözeltisinin killi-tınlı bir toprağa enjekte edilmesiyile değerlendirmişlerdir

[31]. Tarımsal gübre serpmeye makinesinde kullanılan iki farklı tipteki radyal fanın 4000 d d⁻¹'de sayısal ve deneysel bir karşılaştırmasını incelemişlerdir. Uygulama nozulları boyunca hava dağılım davranışını değerlendirmek için radyal fanların matematiksel modellerini test tezgahında deneysel olarak doğrulamışlar ve sonra tarımsal gübre serpmeye makinesinin simülasyonunu gerçekleştirerek deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Sayısal analizleri, hız ölçümleri için sıcak telli bir anemometre ve basınç okumaları için bir pitot tüpü kullanılarak bir test tezgahında gerçekleştirilen deneylerle doğrulamışlardır [32].

6) *Sulama Makine ve sistemlerinde yapılan çalışmalar*: Su kısıtlaması koşullarında seralarda saksılarda yetiştirilen bitkiler sırasında dağılmış terleme ve mikro iklimi simüle etmek için belirli bir alt model geliştirmişlerdir. 2D geçici HAD modeli uygulamışlar ve sera içindeki iklim ile mahsul etkileşimlerini hesaba katmak için kullanıcı tanımlı fonksiyonlar uyarlamışlardır [33]. Farklı türbülans modellerini ve seçeneklerini düz tip bir damlatıcının hidrolik özelliklerini belirlemek amacıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiği metodunu kullanmışlardır. Ayrıca farklı et kalınlıklarına sahip damlama sulama borularında aynı damlatıcı kullanılması durumunda, damlatıcı hidrolik özelliklerinin tasarıma etkisini araştırmışlardır (Şekil 5). Damla sulama borusunun et kalınlığının damlatıcı debisi üzerinde önemli bir parametre olduğunu bildirmişlerdir. Bu nedenle damlatıcı tasarımı üzerinde yapılan simülasyon çalışmalarında bu parametrenin dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir [34].



Şekil 5. Sulama makinelerinde HAD ile simülasyon [21]

7) *Kurutma ve Ürün İşleme Makinalarında Yapılan Çalışmalar*: HAD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) simülasyonu ile kayısının konvektif kurutma işlemindeki nem ve sıcaklık değişimlerini karşılaştırmak için bir ısı ve kütle transferi modeli geliştirmişlerdir. Kurutma simülasyonunu, sınır tabakasından gelen nem içeriği ve sıcaklığını takip ederek, ağartılmış ve ağartılmamış kayısılar için değişken akış rejimi için gerçekleştirmişlerdir. Kayısılar, hava hızı ve sıcaklığının izlenmesine ve ayarlanmasına izin veren bir sistem kullanarak sıcak hava ile kurutulmuştur. Deneyler ile elde ettikleri veriler ile oluşturdukları simülasyondan elde ettikleri verileri karşılaştırmışlardır [35]. Hava ısıtılmalı güneş kolektörlü bir kurutucu sistem tasarlamışlardır. Tasarladıkları bu sistemle kurutulan elma ürünü için yaş ve kuru baz nem içerik değerleri hesaplanmışlardır. Deneylerle elde ettikleri verileri HAD metodu ile simüle ederek karşılaştırmasını gerçekleştirmişlerdir [36]. Tahıl tohumlarının yapay olarak kurutulması, su içeriğinin azaltılması amacıyla bir kurutma tesisi tasarlamışlardır. Önerdikleri kurutma tesisi, kurutma işleminin bir dizi önemli parametresini gerçek zamanlı olarak değiştirebilen ve izleyebilen düşük kapasiteli bir pilot sistem olarak bildirilmiştir. HAD simülasyonu sayesinde silindirik kutunun ve deflektörlerin yapısını optimize etmişlerdir. Bu durumun homojen bir kurutmaya ulaşılmasının ve enerji tüketiminin azalmasını sağlandığını bildirmişlerdir [35].

8) *Kapalı Tarımsal Alanların İklimlendirilmesi ve Havalandırılması üzerine yapılan çalışmalar*: Bir test odasında sıcaklık ve nem dağılımını inceleyerek ve tarımsal ürünlerin daha uzun süreler için ekonomik olarak saklanabilmesini araştırmışlardır. Araştırmada, deneysel ölçümler ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri (HAD) yapmışlardır. Elde edilen sonuçları her aşamada deneysel verilerle karşılaştırılarak sağlamlarını yapmışlardır [37]. Tarımsal üretim için kullanılan üç farklı tip sera için, hava akışlarını ve havalandırma oranlarını analiz etmişlerdir. Modelin dış ortamın ana meteorolojik değişken dinamiklerini ve geleneksel havalandırma yönetimini içerdiği 36.000 s (10 saat) bir süre için sonlu hacim yöntemi aracılığıyla çözülen bir geçici HAD-2D modeli geliştirerek kalibre etmişlerdir. Simülasyonlardan ve deney sonuçlarından elde ettikleri verilere göre çalışmada önerdikleri alternatif tipteki seraların yüksek And tropiklerinde bulunan koşullarda bahçecilik veya süs bitkileri üretimi için uygun olduğunu bildirmişlerdir [38]. Başlangıçta tarımsal binalara odaklanarak, doğal olarak havalandırılan binalarının iç hava akışı modellerini ve havalandırma oranlarını analiz etmek için kullanıcı dostu bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) simülatörü geliştirmişlerdir. Oluşturdukları bu simülatörler yardımıyla kullanıcılara ücretsiz ve açık kaynaklı olarak bir görselleştirme aracı sunmuşlardır. Kullanıcıların, kullanıcı dostu

grafik kullanıcı ara yüzleri aracılığıyla bina ve havalandırma konfigürasyonlarını, dış rüzgâr koşullarını, topografik koşulları ve bitkiler veya hayvanlarla ilgili bilgileri kolayca girebildiğini bildirmişlerdir. Programın çalıştırdıktan sonra, son işlem için üç boyutlu etkileşimli bir görselleştirme modülünü kullandığını belirtmişlerdir. Önceden geliştirilmiş prosedürleri kullanıcı etkileşimli bir şekilde otomatikleştirerek modelin esnekliğini ve yönetilebilirliğini sağlamakta, böylece zaman ve çabayı azaltabildiğini bildirmektedirler [39]. Sonlu hacimli bir serada HAD metodu yardımıyla kapalı döngü bir ağ oluşturmak amacıyla, bir iklim modelinin dış ortamına dayalı sanal sensör sistemini kurmuşlardır. Modelden bir regresyon yöntemi kullanarak dış sera ortamına dayalı bir sıcaklık modeli oluşturmuşlar ve geri besleme yöntemi kullanarak da sanal bir sera sıcaklığı sensör modeli oluşturmuşlardır. Bir çiçek serası üzerinde denemelerini gerçekleştirmişler ve MATLAB ara yüz programında bir ağ oluşturma ve türbülans modeli içeren bir üç boyutlu HAD uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda, simülasyonun sıcaklık dağıtım yasanını karşıladığını ve sanal sensörler ile fiziksel sensörlerin sera ortamını izlemek için birlikte kullanılabileceğini bildirmişlerdir [40]. Süt ineği ahırlarındaki hava kalitesini iyileştirilmesi için farklı mekanik havalandırma yöntemleri kullanılmış ve HAD simülasyonları ile ahırlarda gerçekleştirilen ölçümler karşılaştırılmıştır. Oluşturulan modeller ve denemelerde elde edilen sonuçların, farklı sayıdaki fanların ve ahır uzunluklarının ölçülerinin, hava akış hızı ve toplam hacim akış oranı değerlerine oranlarını karşılaştırmışlardır [45].

9) *Hava Taşıtları üzerine yapılan çalışmalar:* Temel özelliği kanat uçlarına takılan uyarlanabilir çok kanatlı bir cihaz olan ve misyonunda sunulan ana aerodinamik sorunları bu şekilde optimize eden gelişmiş bir tarım uçağı prototipinin kavramsal tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Uçağın tasarım gereksinimlerine odaklanmışlar ve ağırlıktan, boyutlandırmaya, pilotların ergonomik gereksinimleri, aerodinamik, stabilite ve performansla ilgili önceki çalışmaları inceleyerek uygun uçağı geliştirmek ve değerlendirmek için geleneksel uçak tasarım yöntemlerini kullanmışlardır. Daha sonra, kendi geometrisi bir devrilme tankına yerleştirilmiş üç kanatçıktan oluşan uyarlanabilir çok kanatlı cihazı tasarlamak için analitik ve hesaplama yöntemlerini kullanmışlardır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) simülasyonu yardımıyla en iyi aerodinamik özellikleri sağlayan düzenlemeyi belirlemek için, her bir kanatçığın sadece eğim açısı değiştirilerek altı konfigürasyon oluşturmuşlardır. Öncelikli olarak uçağın kanat etrafındaki akış ve çok kanatlı bölümünü özel olarak incelemişlerdir. Daha sonra, temel konseptin genel aerodinamik performansını uçağa takılan optimum çoklu kanatçık konfigürasyonu ile karşılaştırmak için tüm uçağın etrafındaki hava akışını incelemişlerdir [47]. Tarımsal üretimde kullanılan İHA'ların pervanelerinin oluşturdukları aşağı yönlü rüzgârın etkilerini yaptıkları çalışmada incelemişlerdir. Bu amaçla İHA'yı temsilen gerçek bir İHA'nın 1/10 ölçekli halini kullanmışlardır. Daha sonra oluşturdukları modeli HAD metodu ile simüle ederek, deney çalışmalarından elde ettikleri verileri karşılaştırmışlardır. Bu çalışmanın tarımsal İHA'ların HAD modellemesini ve doğrulamasını araştırmak için ön ama temel bir girişim olduğunu ve aşağı yönlü doğrulama için yeni bir düşünce sağladığını bildirmişlerdir [48]. Düşük hızlı ses altı rejiminde çalışabilen oktokopter İHA'larının aerodinamik verimliliğini ve performansını optimize etmek amacıyla, literatürde verilen yöntemleri, hesaplamalı akışkanlar dinamiğini (HAD) ve doğrulama deneylerini birleştiren bir hibrit yaklaşımın gelişimini araştırmışlardır. Tek katmanlı ve koaksiyel konfigürasyonlara sahip geleneksel oktokopterlerin dezavantajlarını düzeltmek için, teorik analizin ön aerodinamik değerlendirmesine ve deneyim özetine dayalı olarak yeni bir oktokopter konfigürasyonu önermişlerdir. Sistematik ve doğru bir aerodinamik analiz elde etmek için model analitiğini, geleneksel konfigürasyon, koaksiyel konfigürasyon ve yeni konfigürasyon dahil olmak üzere üç farklı konfigürasyona sahip beş farklı oktokopter İHA modeli ile gerçekleştirmişlerdir. Rotor kanat boyutunun, rüzgârın ve rotorlar arasındaki girişimin çok rotorlu sistemlerin performansı ve verimliliği üzerindeki etkilerini araştırmak için HAD simülasyonlarını kullanmışlardır [49].

III. SONUÇ VE TARTIŞMA

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği; yüksek işletme maliyeti olmayan, problemlere hızlı çözüm sağlayabilen, karmaşık olmayan çözümlerle ilgili problemler üzerinde yeni eklemeler yapılarak tekrarlama imkânı sunabilen bir analiz yöntemidir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) metodu ile akış alanlarının modellenmesinde büyük gelişmeler sağlamıştır. Daha önceden anlaşılmayan pek çok akış özelliklerinin yapısı bu yöntemle anlaşılır hale gelmiştir. Endüstride birçok uygulamalı mühendislik probleminde kullanılan HAD metodunun, deneysel gözlemleri de destekleyen bir yöntem olarak kullanımı, her geçen gün artan yeni bir teknoloji alanı oluşturmuş durumdadır.

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemlerinin birçok avantajı bulunmaktadır.

- Tasarımda önemli ölçüde zaman kazancı sağlamaktadır.

- Deneysel çalışmalarda tekrarlanamayan koşulları kolayca yeniden oluşturulabilmektedir
- Bilgisayar grafik teknolojisi ile birleştirilerek; ayrıntılı, hayal gücüne yardımcı veriler sağlamaktadır.
- Rüzgâr tüneli deneylerine ucuz alternatif oluşturmaktadır.
- Deneysel olarak incelenmesi zor ve pahalı olan koşulların analizi için alternatif yöntemdir [51].

Otomotivden, savunma ve havacılık uygulamalarına, turbo makinalardan, akış kontrol sistemlerine, termal konfordan, karayolu ve demiryolu tünel yangınlarına kadar akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve termodinamik uzmanlığı gerektiren tüm uygulamalarda HAD metodu ile gerçekleştirilebilmektedir. HAD metodunda oluşturulan simülasyonlar ile olası problemler önceden tespit edilip, gerekli düzenlemeler yapılabilmektedir. Fiziksel prototip imalatı ve deneme-yanılma gibi uygulamaları minimize edebilmektedir. Tasarımın daha ilk aşamasında, daha verimli sistemler tasarlanabilmektedir. HAD metodunda oluşturulan simülasyon sonuçları, simülasyon tabanlı ürün tasarım sürecinde ürünün çalışmasını, varsa problemleri bilgisayar ortamında görebilmeye ve ürün performansını optimize etmekte önemli faydalar sağlamaktadır.

Tarımsal üretimin birçok aşamasında akış mevcuttur. Toprak işleme sırasında toprağın yer değiştirmesi, tohumun ekim makinası içerisindeki akışı, sulama suyunun akışı, zararlı canlılarla mücadele için kullanılan pestisitlerin uygulanması, ürün hasat ve harmanı sırasında tanelerin ayrılması, ürünlerin kurutulması ve depolanan hacimlerin iklimlendirilmesi ile akıllı tarım uygulamalarında kullanılan İHA'lar bu örneklerden bazılarıdır. Akışın olduğu her yerde HAD metodu kullanarak simülasyonlar gerçekleştirilebilmekte ve deneylerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Mevcut çalışmalardan elde edilen veriler ışığında HAD metodu ile oluşturulan simülasyonların deneylerle elde edilen verilere yakın değerler olduğunu göstermektedir. Tarım makinaları üretimi yapan firmaların, ürün oluşturma ve geliştirme aşamalarında HAD metodu ile oluşturacakları simülasyonlardan edinecekleri veriler üretimde iyileşmeye katkıda bulunabilir. Bu iyileşmeler, zaman tasarrufu, girdi maliyetlerinde azalma ve ürün geliştirme için yapılan testlerin azaltılabilmesi olarak sıralanabilir. Tarım 4.0 ile kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan akıllı tarım uygulamalarında kullanılan İHA'ların kapasite artırımı ve çevreye etkilerinin incelenmesinde HAD metodunun yaygın olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir. Gelişen teknoloji ve mevcut yazılımlarda gerçekleştirilen iyileştirmeler yardımıyla, simülasyonların kapasitesi, doğruluk payı ve hassasiyetleri gün geçtikçe artmaktadır. Bu sebeplerle tarımsal üretimde akışkanların kullanıldığı her durum için bu metod kullanılabilir. Tarımsal üretimde farklı akışkan ortamlarına yönelik verimli, çevre dostu ve ekonomik süreçlerin gerçekleştirilebilmesi için hesaplamalı akışkanlar dinamiği yönteminin yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Keskin, G. (2019). *Doğal Havalandırmalı Plastik Serada Bazı İklim Parametrelerinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) İle Belirlenmesi: Hatay İli Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- [2] Cemek, B., Atış, A., & Küçüktopçu, E. (2017). Evaluation of temperature distribution in different greenhouse models using computational fluid dynamics (CFD). *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32, 54-63. DOI: 10.7161/omuanajas.289354
- [3] Aslanbay Güler B., & İmamoğlu, E. (2020). Bilgisayar destekli simülasyon ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 13(1), 42-52.
- [4] Küçüktopçu, E. (2016). *Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Kullanarak Kümes İçi Çevre Koşullarının Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [5] Arsenoia, V., Vlăduț, V., Țenu, I., Voicea, I., Moiceanu, G., & Cârlescu, P. M. (2019). Mathematical Modeling and Numerical Simulation of the Drying Process of Seeds in a Pilot Plant. *INMATEH-Agricultural Engineering*, 57(1), 55-62.
- [6] Malekjani, N. & Jafari, S.M. (2018). Simulation of food drying processes by Computational Fluid Dynamics (CFD); recent advances and approaches. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 206-223.
- [7] Süfer Ö., Kumcuoğlu, S., & Tavman, Ş. (2016). Gıda Mühendisliğinde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Uygulamaları. *Akademik Gıda*, 14(4), 465-471.
- [8] Özcan, O.A. (2004). *Uçak Kanatlarının CFD Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Akdemir, S. & Bal, E. (2014). Elma Depolamada Kasa İçi Ortam Koşullarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Modellenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(1), 53-62.

- [10] Ovalı, İ., Atay, Ö., & Yılmaz, E. (2021). Santrifüj Pompa Tasarımında Sayısal Yöntemlerin(HAD/CFD) Kullanımı. *Mühendis ve Makina*, 62(705), 654-664.
- [11] Atış, A. (2011). *Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) Kullanılarak Samsun Koşullarına Uygun Farklı Sera Modellerinde Doğal Havalandırma Etkinliğinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [12] Akdemir, S., Öztürk, S., & Ülger, P. (2016). Bir Traktör Kabininde Ortam Şartlarının Yaz koşullarında HAD ile Belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(02), 46-54.
- [13] Jurco, A.N., Gheres, M., Jurco, E.C., & Scurtu, I.L. (2018). CFD Study of the Exhaust Gases Distribution for Tractors Without Cab. *ISB-INMA TEH*. 149- 152.
- [14] Oh, J., Choi, K., Son, G., Park, Y., Kang, Y., & Kim, Y. (2020). Flow analysis inside tractor cabin for determining air conditioner vent location. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169.
- [15] Karmakar, S., Ashrafzadeh, S. R., & Kushwaha, R. L. (2009). Experimental validation of computational fluid dynamics modellingfor narrow tillage tool draft. *Journal of Terramechanics*, 46, 277-283.
- [16] Wei, M., Zhu, L., Luo, F., Zhang, J. W., Dong, X. W., Jen, & T. C. (2019). Share-soil interaction load and wear at various tillage conditions of a horizontally reversible plough. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 21-30.
- [17] Zhu, L., Cheng, X., Peng, S. S., Qi, Y. Y., Zhang, W. Z., Jiang, R., & Yin, C. L. (2016). Three-dimensional computational fluid dynamic interaction between soil and plow breast of horizontally reversal plow. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 1-9.
- [18] Devarrewaere, W., Foqué, D., Nicolai, B., Nuyttens, D., & Verboven, P. (2018). Eulerian-Lagrangian CFD modellingof pesticide dust emissions from maize planters. *Atmospheric Environment*, 184, 304-314.
- [19] Han D., Zhang D., Jing H., Yang L., Cui T., Ding Y., Wang Z., Wang Y. & Zhang T. (2018). DEM-CFD coupling simulation and optimization of an inside-filling air blowing maize precision seed-metering device. *Computers and Electronics in Agriculture*, 150, 426-438.
- [20] Lei, X., Liao, Y., & Liao, Q. (2016). Simulation of seed motion in seed feeding device with DEM-CFD coupling approach for rapeseed and wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, 131, 29-39.
- [21] Yazgi, A., Demir, V., & Değirmencioglu, A. (2020). Comparison of computational fluid dynamics-based simulations and visualized seed trajectories in different seed tubes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44, 599-611.
- [22] Hu, H., Zhou, Z., Wu, W., Yang, W., Li, T., Chang, C., Ren, W. & Lei, X. (2021). Distribution characteristics and parameter optimisation of an air-assisted centralised seed-metering device for rapeseed using a CFD-DEM coupled simulation. *Biosystems Engineering*, 208, 249-259.
- [23] Fenghui, G., Youqun, Z., Feng, W., Zhichao, H., & Lili, S. (2022). Simulation analysis and experimental validation of conveying device in uniform rushedstraw throwing and seed-sowing Machines using CFD-DEM coupled approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193, 106720.
- [24] Lim, B. Y., Shamsudin, R., Baharudin B. T. H. T., & Yunus, R. (2015). Performance evaluation and CFD multiphase modellingfor Multistage Jatropha Fruit Shelling Machine. *Industrial Crops and Products*, 85, 125-138.
- [25] Dai, F., Song, X., Zhao, W., Han, Z., Zhang, F., & Zhang, S. (2019). Motion simulation and test on threshed grains in tapered threshing and transmission device for plot wheat breeding based on CFD-DEM. *Int J Agric & Biol Eng.*, 12(1), 66-73.
- [26] Liang, Z., Xu, L., De Baerdemaeker, J., Li, Y., & Saeys, W. (2020). Optimization of a multi-duct cleaning device for rice combine harvesters utilizing CFD and experiments. *Biosystems Engineering*, 190, 25-40.
- [27] Xu, L., Li, Y., Chai, X., Wang, G., Liang, Z., Li, Y. & Li B. (2020). Numerical simulation of gas solidtwo-phase flow to predict the cleaning performance of rice combine harvesters. *Biosystems Engineering*, 190, 11-24.
- [28] Xu, H., Znahg, P., Hu Z., Mao, E., Yan, J. & Yang, H. (2022). Analysis of dust diffusion from a self-propelled peanut combine using computational fluid dynamics. *Biosystems Engineering*, 215, 104-114.
- [29] Endalew, A. M., Debaer, C., Rutten, N., Vercammen, J., Delele, M. A., Ramon, H., Nicolaï, B. M., & Verboven, P. (2010). Modellingpesticide flow and deposition from air-assisted orchard spraying in orchards: A new integrated CFD approach. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 1383-1392.
- [30] Hong, S.W., Zhao, L., & Zhu, H. (2018). CFD simulation of airflow inside tree canopies discharged from air-assisted sprayers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 149, 121-132.
- [31] Zheng, W., Jiang, Y., Ma, X., & Qi, L. (2019). Development of a liquid-jet nozzle for fertilizer injection in paddy fields using CFD. *Computers and Electronics in Agriculture*. 167, 105061.

- [32] Fogal, M. L. F., Micheli, G. B., Scalon, V. L., & Padilha, A. (2021). Numerical-experimental comparison of radial fans applied in pneumatic transport of agricultural fertilizer spreaders. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering)*, 25(1), 58-64.
- [33] Ali, H.B., Bournet, P.E., Cannavo, P., & Chantoiseau, E. (2018). Development of a CFD crop submodel for simulating microclimate and transpiration of ornamental plants grown in a greenhouse under water restriction. *Computers and Electronics in Agriculture*, 149, 26-40.
- [34] Demir, V., Yürdem, H., Yazgı, A., & Günhan T. (2020). Determination of the Hydraulic Properties of a Flat Type Drip Emitter using Computational Fluid Dynamics. *Journal of Agricultural Sciences (Tarım Bilimleri Dergisi)*, 26, 226-235.
- [35] Cârlescu, P.M., Arsenoiaia, V., Roşca, R., & Țenu, I. (2017). CFD simulation of heat and mass transfer during apricots drying. *LWT - Food Science and Technology*, 85, 479-486.
- [36] Alıç, E. & Daş, M. (2019). Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Sisteminde Ürün Nem Oranının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizi. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22, Özel Sayı, 78-82.
- [37] Akdemir, S., Öztürk, S., Edis, F.O., & Ülger, P. (2012). Soğuk Hava Depolarında Ortam Koşullarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) ile Modellenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(2), 241-248.
- [38] Villagrán, E.A., Romero, E.J.B., & Bojacá, C.R. (2019). Transient CFD analysis of the natural ventilation of three types of greenhouses used for agricultural production in a tropical mountain climate. *Biosystems Engineering*, 188, 288-304.
- [39] Kim, R., Hong, S., Norton, T., Amon, T., Youssef, A., Berckmans, D., & Lee I. (2020). Computational fluid dynamics for non-experts: Development of a user-friendly CFD simulator (HNVR-SYS) for natural ventilation design applications. *Biosystems Engineering*, 193, 232-246.
- [40] Cheng, X., Li, D., Shao, L., & Ren, Z. (2021). A virtual sensor simulation system of a flower greenhouse coupled with a new temperature microclimate model using three-dimensional CFD. *Computers and Electronics in Agriculture*, 181, 105934.
- [41] Hong, S-W., Exadaktylos, V., Lee, I-B., Amon, T., Youssef, A., Norton, T. & Berckmans, D. (2017). Validation of asource open-source CFD code to simulate natural ventilation for agricultural buildings. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 80-91.
- [42] Dhiman, M., Sethi, V.P., Singh, B. & Sharma, A. (2019). CFD analysis of greenhouse heating using flue gas and hot water heat sink pipe networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104853.
- [43] Müller, J., Schenk, C., Keicher, R., Schmidt, D., Schulz, V. & Velten, K. (2020). Optimization of an externally mixed biogas plant using a robust CFD method. *Computers and Electronics in Agriculture*, 171, 105294.
- [44] Guatam, K. R., Rong, L., Iqbal, A. & Zhang, G. (2021). Full-scale CFD simulation of commercial pig building and comparison with porous media approximation of animal occupied zone. *Computers and Electronics in Agriculture*, 186, 106206.
- [45] Pakari, A. & Ghani, S. (2021). Comparison of different mechanical ventilation systems for dairy cow barns: CFD simulations and field measurements. *Computers and Electronics in Agriculture*, 186, 106207.
- [46] Akdemir, S. (2016). Bir soğuk hava deposunda farklı menfez kanat açılımlarına göre hava dağılımının hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile tahmini. *Anadolu Tarım Bilim. Dergisi*, 31, 84-95.
- [47] Bravo-Mosquera, P. D., Cerón-Muñoz, H. D., Díaz-Vázquez, G., & Catalano, F. M. (2018). Conceptual design and CFD analysis of a new prototype of agricultural aircraft. *Aerospace Science and Technology*, 80, 156-176.
- [48] Yang, S., Tang, Q., Zheng, Y., Liu, X., Chen, J., & Li, X. (2020). Model migration for CFD and verification of a six-rotor UAV downwash. *Int J Agric & Biol Eng.*, 13(4), 10-18.
- [49] Zhu, H., Nie, H., Zhang, L., Wei, X., & Zhang, M.(2020). Design and assessment of octocopter drones with improved aerodynamic efficiency and performance. *Aerospace Science and Technology*, 106, 106206.
- [50] Shouji, C., Dafsari, R. A., Yu, S-H., Choi, Y. & Lee, J. (2021). Mean and turbulent flow characteristics of downwash airflow generated by a single rotor blade in agricultural drones. *Computers and Electronics in Agriculture*, 190, 106471.
- [51] Koca, F., (2015). *Traktör Soğutma Pompasının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Optimum Tasarımı ve Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Derleme Makalesi - Review Article

Odun Sirkesinin Tarımda Kullanımı

Agricultural Use of Wood Vinegar

Murat Birol^{1*}, Elif Günel²

Geliş / Received: 05/10/2021

Revize / Revised: 04/03/2022

Kabul / Accepted: 21/03/2022

ÖZ

Farklı disiplinlerden bilim insanlarının pirolignöz asit olarak da tanımladığı odun sirkesi (OS), biyokütlenin pirolizi ile ortaya çıkan bir üründür. Biyokütlenin piroliz işlemi sırasında açığa çıkan buhar, gaz ve dumanın damıtılması ile oluşan sıvının dinlendirilmesi ve bir süre bekletilmesi sonrasında oluşan üç katmanlı oluşumun orta katmanına OS denilmektedir. Odun sirkesinin bileşimi biyokömür üretiminde kullanılan biyokütlenin çeşidi ve piroliz koşullarına bağlı olarak önemli oranda değişmektedir. Bununla birlikte, sıvı haldeki odun sirkesinde su oranı %80-%90 arasında değişmektedir. Sudan sonra en baskın bileşen asetik asit (30.45-70.60 mg mL⁻¹) olup bunu diğer asitler, alkoller, fenoller, esterler, karbonil, furanlar ve diğer organik bileşenler takip etmektedir. Bileşiminden de kolayca anlaşılacağı gibi OS'un pH'sı 2-4 arasında, özgül ağırlığı 1.005-1.016 g mL⁻¹ ve çözünmüş katran içeriğinin %0.23-%0.89 arasında değiştiği rapor edilmiştir. Toprağa organik madde ve besin elementi sağladığından dolayı, toprağın kalitesinin artmasına katkı sağladığı bunun yanında, çeşitli hastalık ve zararlılar ile mücadelede etkili olduğu, tohumların çimlenmesine yardımcı olduğu, bitki büyüme ve verim parametrelerine katkıda bulunduğu ve meyve kalitesini iyileştirdiği bildirmiştir. Özellikle alkalın topraklarda, pH'nın düşmesine yardımcı olarak besin elementlerinin yararlılığını arttırdığı da bilinmektedir. İçerdiği organik bileşenler sayesinde toprağın agregatlaşmasını arttırması ve toprakta bulunan mikroorganizmaların yaşamlarını da olumlu etkilemesi beklenmektedir. Yukarıda özet olarak belirtilen faydaları, bu ürünün gelecekte tarımsal üretim sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılabilmesine işaret etmektedir. Bu kapsamda OS, atıkların çevreye dost bir ürüne dönüşmesini sağlayacak faydalı bir üründür.

Anahtar Kelimeler- Pirolignöz Asit, Odun Sirkesi, Biyokömür, Piroliz, Sürdürülebilir Tarım

ABSTRACT

Wood vinegar (WV), which is defined as pyrolignous acid by the scientists from different disciplines, is a product of biomass pyrolysis. The middle layer of the three-layer formation, which is formed after the liquid formed by the distillation of the steam, gas, and smoke released during the pyrolysis process of the biomass, is rested and kept for a while, is called WV. The composition of wood vinegar varies considerably depending on the type of biomass used in biochar production and the pyrolysis conditions. However, the water ratio in liquid wood vinegar varies between 80-90%. The most dominant component of WV after water is acetic acid (30.45-70.60 mg mL⁻¹), followed by other acids, alcohols, phenols, esters, carbonyl, furans, and other organic compounds. The pH of WV varies between 2-4, the specific gravity is between 1.005-1.016 g mL⁻¹, and the dissolved tar content varies between 0.23-0.89 %. The WV provides organic matter and nutrients to the soil, therefore, the WV increases the soil quality, as well as being effective in combating various diseases and pests, helping the germination of seeds, increasing plant growth, contributing plant growth and yield parameters and improving fruit quality. The WV also increases

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: muratbirol07@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-1947-3193>)

Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Samsun, Türkiye

²İletişim: elifgunal@yahoo.com (<https://orcid.org/0000-0003-0624-2919>)

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ziraat Fakültesi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye

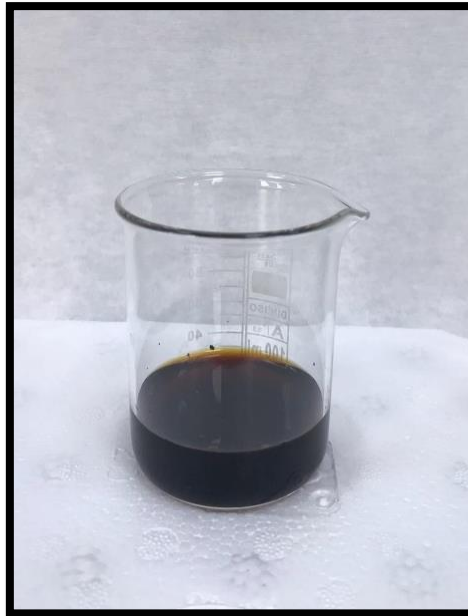
the availability of nutrients by decreasing the pH, especially in alkaline soils. The WV causes an increase in the formation of aggregates. Thus, it is expected to have a positive effect on the activities of soil microorganisms. The aforementioned benefits indicate that this product can be widely used in agricultural production systems in the future. WV is a useful product that will turn waste into an environmentally friendly product.

Keywords- Pyroligneous Acid, Wood Vinegar, Biochar, Pyrolysis, Sustainable Agriculture

I. GİRİŞ

Tarım ve ormancılık faaliyetleri sonucu ortaya çıkan ve çoğunlukla yakılarak veya doğada terk edilerek elden çıkarılan biyokütle miktarının yıllık 146 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir [1]. Bu tür biyokütle kalıntılarının yakılması, toprak canlılarını olumsuz etkileyerek toprağın bozulmasına yol açabilir. Ayrıca çok sayıda partikül, uçucu organik karbon ve yarı uçucu organik karbon bileşikleri, kül, sülfat aerosolleri ve eser gazlar da atmosfere salınmaktadır. Bu kirleticiler, küresel iklim değişikliğinin artması, biyolojik çeşitliliğin yok olmasının yanı sıra sosyo-ekonomik ve sağlık sorunları gibi küresel ölçekte birçok soruna yol açmaktadır. Bu nedenle, biyokütlenin yanmasını veya çürütülerek yok edilmesini en aza indirmek ve bunun yerine düşük maliyetli kirlilik azaltma ve onu faydalı biyo ürünlere dönüştürmek için sürdürülebilir teknolojiler geliştirmek önemlidir [2]. Küresel ve bölgesel olarak çevre kirliliğini azaltmanın bir yolu, biyokütlenin piroliz, karbonizasyon, gazlaştırma ve süper kritik sıvı ekstraksiyonu gibi çeşitli işlemlerle gaz, sıvı ve katı yakıtlara dönüştürülmesidir [3,4].

Açık havada yakıldığında küle dönüşen biyokütle, kapalı bir ortamda ısıtılırsa, ısı etkisiyle biyokömüre dönüşür. Karbonizasyon adı verilen bu işlem esnasında ortaya çıkan duman soğutulduğunda, yoğunlukları birbirinden farklı olan, yağlı bir sıvı, kalın bir katran ve ham odun sirkesi (OS) olarak adlandırılan şeffaf, sarımsı kahverengi bir sıvıdan oluştuğu görülecektir [2,5] (Şekil 1). Odun sirkesi toplam biyokütlenin %7.26'sına ulaşabilen yüksek bir verimliliğe sahiptir [6]. Büyüme teşvik edici etkisi nedeniyle odun sirkесinin tarımsal üretimde kullanımı 1930'lara kadar uzanmaktadır. Bununla birlikte, odun sirkесinin bitkisel üretimdeki etkilerini araştıran ilk çalışmalar oldukça uzun zaman önce Japonya'da başlamıştır. Buna rağmen Japonya odun sirkесinin tarımsal kullanımını ancak 20 yıl önce tavsiye etmeye başlamıştır [7].



Şekil 1 Prolignöz asit (Odun sirkesi)

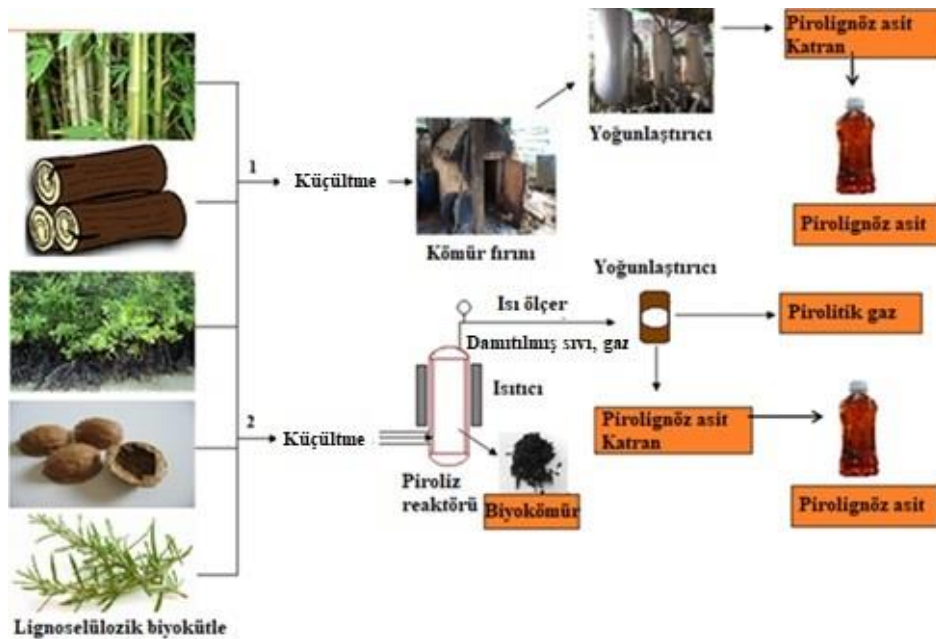
Son yıllarda, odun sirkesi ile ilgili araştırmalar; tıp, gıda, tarım ve çevre alanlarında bakteriyostatik ajanlar, antioksidanlar, bitki büyüme düzenleyicileri ve toprak katkı maddeleri üzerine odaklanmıştır [8,9]. Odun sirkесinin toprak kalitesini iyileştirdiği, bitki zararlıları ve hastalıkların etkisini azalttığı [10] ayrıca bitki büyüme düzenleyicisi veya yabancı ot inhibitörü olarak bitki büyümesine katkı sağladığı bildirilmiştir [11]. İçerdiği yüksek

miktardaki azot, fosfor ve potasyum nedeniyle tarım bilimcilerinin de ilgisini çekmiştir [12,13]. Odun sirkesi uygulamasının topraktaki besin elementi miktarını artırarak [14] bitkilerin büyümesini destekleyebileceği bildirilmiştir [15,16]. Buna ilaveten, odun sirkesi uygulamalarının çeltik ekili alanlardan kaynaklanan metan (CH₄) ve nitroz oksit (N₂O) emisyonlarının azaltılması açısından olumlu bir etkiye sahip olduğu da rapor edilmiştir [17].

II. ODUN SİRKEŞİ ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİ

A. Odun Sirkesinin Üretimi

Odun sirkesi, lignoselülozik biyokütleden odun kömürü üretiminde ortaya çıkan dumanın uygun bir ortamda soğutulmasıyla üretilir. Soğutma, karbonizasyonda ortaya çıkan 80 ile 180°C arasında sıcaklıkta olan dumanın piroligneöz sıvısına yoğunlaşmasına neden olur. Bu sıcaklığa ekzotermik ayrışmanın karbonizasyon aşamasında ulaşılır ve sarımsı, buruk duman görünümünü alır [5] (Şekil 2).



Şekil 2. Lignoselüloz bazlı biyokütleden piroligneöz asit üretimi [18]

Günümüzde 128'i Çin'den olmak üzere 189 odun sirkesi ürünü ticari olarak pazarlanmaktadır. Odun sirkesi bazı pestisit, Japonya'da ve Tayland, Kamboçya ve Çin gibi diğer birçok Asya ülkesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) "sirke", minimum riskli pestisit olarak listelenmiştir ancak bu sirke çalışmamıza konu olan "odun sirkesi" değildir. Çam katranı yağı, katran olarak yalnızca Avustralya, Hindistan, Yeni Zelanda ve Birleşik Krallık; ABD, Avustralya, Yeni Zelanda, Macaristan ve Kanada'da ise pestisit kullanımı için tescil edilmiştir. Ardıç katranı yalnızca Yeni Zelanda'da kullanım için listelenmiştir. Avrupa'da ise henüz çok yeni olan odun sirkesi ülkemizde de olduğu gibi Asya pazarıyla kıyaslanamayacak kadar az kullanılmaktadır [19].

B. Odun Sirkesinin Bileşimi ve Özellikleri

Odun sirkesi, bitki biyokütlesinin selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi bileşenlerinin termokimyasal parçalanmasından kaynaklanan karmaşık bir sulu sıvı fraksiyondur. Odun sirkesinin bileşimi, başlangıç odunsu malzemeye ve üretim sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [2, 18,20]. Araştırmacılar, odun sirkesi içerisinde 200'den fazla bileşen olduğunu rapor etmişlerdir [21]. Odun sirkesinin bileşimi biyokömür üretiminde kullanılan biyokütlenin çeşidi ve piroliz koşullarına bağlı olarak önemli oranda değişmektedir. Bununla birlikte, sıvı haldeki odun sirkesinde su oranı %80 ile %90 arasında değişmektedir. Sudan sonra en baskın bileşen asetik asit (30.45-70.60 mg mL⁻¹) olup bunu diğer asitler, alkoller, fenoller, esterler, karbonil, furanlar ve diğer organik bileşenler takip etmektedir. Bileşiminden de kolayca anlaşılacağı gibi OS'nin pH'sı 2 ile 4 arasında, özgül ağırlığı 1.005 ile 1.016 g mL⁻¹ arasında ve çözünmüş katran içeriği ise %0.23 ile %0.89 arasında değiştiği bildirilmiştir [22].

Özgül ağırlığı 1.005-1.050 g mL⁻¹ arası olup rengi soluk sarıdan parlak kahverengiye ve kırmızımsı kahverengiye benzediği rapor edilmiştir [5]. Çoğunlukla, aldehit, keton, alkol (metanol, butanol, amilalkol), asit (asetik, formik, propionik, valerik), formaldehit, aseton, furfural, valerolakton gibi nötr maddeler, fenoller (syringol, kresol, fenol), hidrokarbonlar ve azot bileşikler olan amonyak, metil amin ve piridin gibi temel maddelerden oluşur [23]. Odun sirkesinin karakteristik duman kokusu barındırdığı fenolik gruplardan kaynaklanmaktadır. Ana bileşen olan asetik asit, odun sirkesinin düşük pH'e sahip olmasındaki en büyük pay (%50) sahibidir [24]. Asitlerin yüksek konsantrasyonu (ağırlıkça %25'e kadar), odun sirkesinin pH'sının düşük (<3) olmasını sağlar. Bu nedenle, odun sirkesi uygun miktar ve zamanda uygulanırsa olumlu etkiler elde edilmesi mümkün olabilir [25]. Grewal ve ark. [2] tarafından odun sirkesinin pH'sı 2.8, yoğunluğu 1.037 g mL⁻¹, toplam organik C içeriği 33.8 g L⁻¹, toplam N içeriği 0.43 g L⁻¹, organik asit içeriği %3.23, fenolik bileşik 13.0 g L⁻¹ ve metanol miktarı 13.4 g L⁻¹ olarak rapor edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar, odun sirkesinin nem içeriğinin (wt %) %15-30, C içeriğinin %54-58, H içeriğinin %5.5-7.0, O içeriğinin %35-40 ve N içeriğinin %0.2-1 olduğunu bildirmişlerdir [2].

Yapılan araştırmalar, piroliz sıcaklığının 300 °C 'den 500°C' ye yükseltilmesi ile odun sirkesindeki fenol, asit ve keton miktarlarının arttığını göstermiştir [19]. Acı badem kabuklarından üretilen odun sirkesinin en güçlü antibakteriyel aktivitelerini 90-170°C ve 370-510°C sıcaklık aralığı yerine 170-370°C sıcaklık aralığında sergiledikleri belirlenmiştir. Bu durum, fenol ve türevlerinin piroliz işlemleri sırasında oluşan baskın kimyasal bileşenler olduğunu göstermiştir [26].

III. ODUN SİRKESİNİN TARIMA KATKISI

A. Odun Sirkesinin Bitki Gelişimine Etkisi

Odun sirkesi bitki büyümesini etkilemede hala belirsizlikler göstermektedir. Çalışmalar, odun sirkesinin bitki gelişimini arttırdığı [16], azalttığı [27] veya bitki büyümesi üzerinde hiçbir etkisinin olmadığını [28] göstermiştir. Odun sirkesinin performansı, uygulama dozu [27,29] ve uygulama yöntemine [28] göre büyük ölçüde değişiklik göstermektedir.

Termokimyasal damıtma işlemi sonrasında elde edilen odun sirkesi, toprağı iyileştirici etkiye sahip olan organo-mineral gübre görevi, bitkilerle yabancı ot ve zararlılarla mücadelede ise biyopestisit görevi görmektedir. Odun sirkesi tarımda çoğunlukla bitki büyümesini hızlandırıcı bir madde olarak kullanılmaktadır. Bitkiler için uygun miktarda fenolik madde, bitki hormonlarının yaptığına benzer şekilde bitki büyümesini teşvik edici fizyolojik etkiler üretebilir. Odun sirkesi sadece azotlu bileşikler (bitki proteinleri ve serbest amino asitler gibi) önemli ölçüde artırmakla kalmaz, aynı zamanda bitkilerin topraktaki mikro elementleri almasına da yardımcı olur ve bitkilerin beslenme metabolizmasını geliştirir [2]. Odun sirkesinde bulunan organik asitler, bitkilerin hücreler arası asitlenmesine neden olarak, hücre duvarı lignoselülozu arasındaki hidrojen bağının kopmasına neden olabilir, hücre duvarı bağlantısını gevşetebilir ve böylece hücre bölünmesini, uzamasını kolaylaştırabilir ve kök büyümesini teşvik edebilir [30]. Araştırmacılar, odun sirkesi uygulamalarının rizosfer bölgesinde büyümeyi arttırdığını bildirmişlerdir [31,32]. Çin'de yapılan bir çalışmada, biyokütle atıklarından yapılan odun sirkesinin, kereviz verimini ve kalitesini iyileştiren bir yaprak gübresi olarak kullanılabileceğini göstermiştir [33]. Biyokömür ve odun sirkesi karışımının da toprak verimliliğini ve süs bitkilerinin büyümesini arttırdığı bildirilmiştir [27]. Bambu bitkisinden elde edilen odun sirkesinin piroliz sıcaklığına bağlı olarak bitki büyümesi üzerine etkisinin değiştiği bildirilmiştir [34]. Bambu odun sirkesi ile yapılan çalışmalarda bazı sebze türlerinin büyümesinde bir artış gözlemlenmiştir [35]. Mahmud ve ark. [36] ananas bitkisinden elde ettikleri odun sirkesinin %2 dozunda ilave edilmesi ile yaprak ve meyve sayısının kontrole göre arttığını, en yüksek bitki boyu, yaprak çapı ve en ağır meyvenin ise odun sirkesinin %4 dozundan elde edildiğini rapor etmişlerdir. Yeterince seyreltildiğinde, bitki köklenmesini, sürgün büyümesini [33] ve mikrobiyal aktiviteyi [37] teşvik etmek için odun sirkesinin uygulanabileceği bildirilmiştir.

Birçok çalışmada, çeltik [38], şeker kamışı [39] ve tatlı patates [40] yetiştiriciliğinde, odun sirkesinin organik bir gübre ile birlikte uygulanmasının bitki gelişimi üzerine olumlu etkileri olduğu belirtilmiştir. Topraksız kültürde uygulanan %20 dozundaki odun sirkesinin kavun gelişimini ve verimini önemli ölçüde arttırdığı rapor edilmiştir [41]. Odun sirkesinin, çay (*Camellia sinensis*) yetiştiriciliği yapılan arazilerde fosforik asit seviyesini üç kat arttırdığı bildirilmiştir [2].

Toprak kalitesinin iyileştirilmesi, bitki zararlılarının etkisinin azaltılması ve bitki büyümesinin teşvik edilmesine yönelik etkileri nedeni ile odun sirkesi bitkisel üretimde kullanılmaktadır [42]. Araştırmacılar, tavuk gübresi ile birlikte 300 kat seyreltilerek odun sirkesinin kombine uygulamasının, diğer işlemlere kıyasla verim

bileşenlerini ve çeltik tane verimini, ortalama 5.13 t ha⁻¹ arttırdığını bildirmiştir [43]. Buğday tohumunun 600 kez seyreltilmiş odun sirkesi ile mumelesinin çimlenmesini ve büyümesini teşvik ettiği, kuru madde miktarını ve kuraklık stresine toleransı artırdığı tespit edilmiştir [44]. Ayrıca tütün bitkisine 300 kat seyreltilmiş odun sirkesi püskürtmek verimi önemli ölçüde artırmış, antioksidan enzim aktivitesini ve çözünür protein ve potasyum içeriğini zenginleştirmiştir [45].

Odun sirkесinin domates ve biber tohumlarının çimlenmesi ve gelişimleri üzerine etkilerini inceleyen Luo ve ark. [46] odun sirkесinin biber ve domates tohumlarının çimlenmesi üzerine çok az etki gösterdiğini, düşük konsantrasyonlarda (örn., %0.002 ve %0.02) odun sirkесinin kök ve sürgün uzunluklarını arttırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca, odun sirkесi veya biyokömürün bireysel uygulamasının, kök gelişimi ve biyokütle üretimi dahil olmak üzere biber fidesinin büyümesini teşvik ettiği bildirilirken birlikte uygulamanın etkisinin çok zayıf olduğu belirtilmiştir. Odun sirkесinin biber üzerindeki olumlu etkileri, toprağın zayıf asitliğinin korunmasına ve odun sirkесindeki bol aktif bileşiklere (karboksilik asitler, fenoller ve laktonlar) atfedilmiştir. Odun sirkесi ve biyokömür birlikte uygulandığında, biyokömür tarafından sağlanan zengin inorganik besinler ve mikro elementler ve biyokömür tarafından odun sirkесindeki yavaş salınan aktif asit ve fenol bileşenlerinin adsorbe edilmesi nedeniyle domates büyümesi olumlu etkilenmiştir. Araştırmacılar, odun sirkесi ve biyokömürün birlikte uygulanmasının, toprak kalitesini iyileştirme ve böylece bitki gelişimini arttırmak için uygun bir strateji olabileceğini rapor etmişlerdir.

Odun sirkесinin 400 kat seyreltilmesi, kolza bitkisinin boyunu, toplam yaprak sayısını, yeşil yaprak sayısını, yaprak alanını, etkili dal sayısını ve bitki başına bakla sayısını önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle yaprak alan indeksini ve kolza tohumu kuru madde birikimini önemli ölçüde artırmıştır. Odun sirkесi uygulaması, kabuk aşamasındaki yaprakların dökülmesini ve yaşlanmasını geciktirmiş, daha sonraki büyüme aşamasında kuru madde birikimini ve meyve veren organlara taşınmasını kolaylaştırmaktadır. Böylece kolza tohumunun etkili bakla sayısını ve tohum verimini önemli ölçüde artırmıştır. Odun sirkесi uygulaması, kolza tohumunun düşük sıcaklıklara ve hastalıklara karşı direncini de artırabilir [45].

B. Odun Sirkесinin Bitki Sağlığına Etkisi

Asya ülkelerinde odun sirkесi uygulamasının uzun bir geçmişi olmasına rağmen [7], etkinliğine ilişkin bilimsel kanıt oldukça yetersizdir. Pestisit veya biyosit olarak odun sirkесine odaklanan sınırlı sayıda bilimsel araştırma raporu mevcuttur [19]. Çevre üzerindeki toksik etkileri hakkında da çok az şey bilinmektedir [19,47]. Bununla birlikte, dünyanın bazı bölgelerinde uzun zamandır yerel üreticiler odun sirkесini biyopestisit özelliğinden faydalanmak amacıyla kullanmaktadır. Son 10 yılda, çeşitli bitki materyallerinden elde edilen odun sirkесinin kullanımı hızla artmış ve birçok Asya ülkesinde çok sayıda botanik pestisit piyasaya çıkmıştır [19]. Odun sirkесinde tespit edilen çeşitli kimyasalların herbisit etkinliği olduğu bilinmektedir [23,48]. Doza bağlı olarak odun sirkесinin mikroorganizmalara [49,50], yabancı otlara ve zararlılara [51,52] karşı etkisi olduğu bildirilmektedir. Uçucu yağların da etkili herbisitler olduğu bilinmektedir [53]. Benzer şekilde, huş katranı yağının çok sayıda yabancı ot türü üzerinde biyopetisit etkisi gösterdiği tespit edilmiştir [54]. Bir çalışmada, huş ağacından yapılan odun sirkесinin geniş yapraklı yabancı otların kontrolü için kullanılabilceği gösterilmiştir [55].

Buğday bitkisini hastalık ve zararlılardan koruma amaçlı pestisitlerin ve odun sirkесinin, yabancı ot ve buğday hasat parametrelerine etkisini belirlemek amacıyla kurulan bir tarla denemesinde; 1.) pestisit (fungisit, herbisit), 2.) pestisite karşılık gelen %0.5, %1, %2, %3, %4 ve %5 ml OS ve 3.) sadece şebeke suyu verilen kontrol konuları yer almıştır. Araştırmacılar, kontrole kıyasla pestisit uygulamasının yabancı ot sayısı, çeşitliliği ve kuru ağırlığını önemli düzeyde azalttığını ($p=0.002$), buğdayın başakta tane sayısı, başakta tane verimi ve hasat indeksi gibi kalite özelliklerini önemli seviyede ($p\leq 0.05$) arttırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca, odun sirkесi uygulamasının (%1), buğday hasat indeksinin artmasında önemli ($p\leq 0.05$) bir etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir [56]. Bir başka çalışmada Koç ve ark. [57] broyler tavuk yetiştiriciliği atığından gazlaştırma işlemi sonrası elde edilen OS'un, *in-vitro* şartlarında *Aspergillus niger* ve *Penicillium digitatum*'a karşı antifungal etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, *in vitro* şartlarında farklı konsantrasyonlarında (%1, %3, %5, %7 ve %10 mL) odun sirkесi içeren PDA besiyerlerine, patojen kültürlerin 5 mm çapında miselyum diskleri ekilmiş ve 24 ± 1 °C'de 7 gün inkübasyona bırakılmıştır. Antimikrobiyal madde testlerinde OS'un, *A. niger* ve *P. digitatum*'un misel gelişimlerini engellediği tespit edilmiştir. Araştırmacılar, kullanılan OS'un, hastalık etmenlerine karşı denenmesinin faydalı olabileceğini bildirmişlerdir.

İngiltere'de yeşil şeftali yaprak biti (*Myzus persicae*) ve kırmızı örümcek akarına (*Tetranychus urticae*) karşı karışık odun biyokütlesinden elde edilen odun sirkесinin böcek öldürücü etkisi araştırılmış ve her iki zararlı için de %90'dan fazla ölüm oranına ulaşılmıştır [27]. Tayland'da odun sirkесi, tarımda insektisit olarak yaygın

olarak kullanılmaktadır. Örneğin, huş katranı yağı, sümüklü böceklere (*Arion lusitanicus*) ve salyangozlara (*Aranta arbustorum*) karşı iyi bir kovucu olarak bilinmektedir [2]. Odun sirkesi, %1 seyreltme ile püskürtüldüğünde patlıcan (*Solanum melongena*) üzerindeki yaprak biti popülasyonunun %95'inde ölüme neden olmuştur [2]. Bazı yayınlarda odun sirkesinin Japon termitine (*Reticulitermes Japonese*) [50], karasinek ve kenelere [2] karşı etkili olduğu ortaya konulmuştur. Yakın zamanda yayınlanan bir çalışmada, buğday samanı sirkesi 200 kat seyreltilmiş ve buğday deneme alanına (tarla) uygulanmıştır. Araştırma sonrasında buğday ve diğer küçük taneli tahıl ürünlerinin verimini ve kalitesini önemli ölçüde etkileyen fusarium baş yanıklığı bulaşma oranını ve deoksinivalenol içeriğini sırasıyla %66 ve %69 oranında azalttığı rapor edilmiştir. 200 kat seyreltmede buğday samanı sirkesinin kontrol etkinliğinin, tipik kimyasal mantar ilacı uygulamalarına benzer olduğu görülmüştür. Araştırmacılar, buğday samanı sirkesi kullanımının, net fungusit maliyetlerini azaltarak çiftçilerin gelirlerini artırabileceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle buğday samanı sirkesinin, fusarium baş yanıklığının kontrolü için doğal bir mantar ilacı olarak yüksek potansiyele sahip olduğu ve sentetik mantar ilaçlarına bağımlılığı azaltabileceği öngörülmüştür [58].

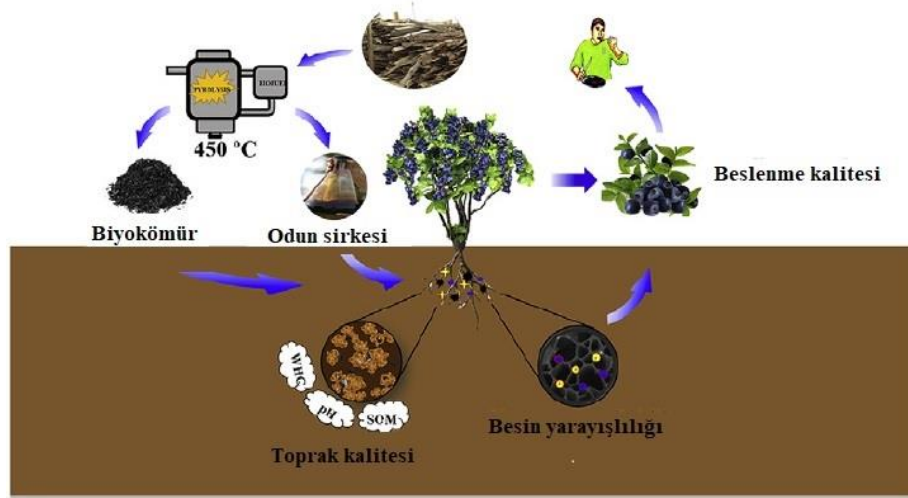
Farklı dozlarda (% 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0) odun sirkesinin şeker pancarı yaprak lekesi hastalığı etmeni *Cercospora beticola*'ya karşı etkinliği in-vitro çalışmasıyla ortaya koymaya çalışılmıştır. In-vitro koşullarda *Cercospora beticola* gelişimi odun sirkesi uygulamaları ile (%0.5 uygulaması hariç) önemli düzeyde azalmıştır. Bununla birlikte %0.5 odun sirkesi dozunda dahi virülensliği yüksek olan *C. beticola* izolatlarının gelişimi %77.4 - %91.1 arasında engellenmiştir. Araştırmacılar, odun sirkesinin etkinliğini göz önüne alarak biyolojik mücadelede kullanabileceğini bildirmiş ve bu konuda yapılan çalışmaların geliştirilmesinin gerekliliğini vurgulamışlardır [59].

Odun sirkesinin biyopestisit, biyogübre ve toprak düzenleyici olarak tarımsal üretimde kullanım potansiyeli konusunda yapılan çalışmaları araştıran Koç ve Namlı [60] *Brassica napus* L. tohumlarının çimlenmesi üzerine en iyi inhibisyon etkinin OS'un %1 (v/v) dozu olduğunu ve OS'nin antibakteriyel bir etki gösterdiğini [61], *Eucalyptus camaldulensis*, *Leucaena leucocephala*, *Azadirachta indica*, *Hevea brasiliensis* ve *Dendrocalamus asper* 'dan elde edilen OS'un, bazı funguslara (*Trametes versicolor* ve *Rigidoporus amylospora*, *Gloeophyllum trabeum* ve *Botryodiplodia theobromae*) karşı antifungal etki gösterdiğini [62] ifade etmişlerdir. Tavuk gübresi ve fındık kabuğundan elde edilen OS'nin vermikompost ortamında, kırmızı Kaliforniya solucanının (*Eisenia foetida*) etkisi belirlenen araştırmada; OS'un tarımsal üretimde biyo-pestisit potansiyeli olduğu [61] tarımsal faaliyetler için kullanılmamış mera toprağında OS'un serbest yaşayan nematodlara etkisi belirlenen araştırmada ise uygulama öncesi ve sonrası arasında fark olduğu tespit edilmiştir [64].

C. Odun Sirkesinin Toprak Kalitesine Etkisi

Odun sirkesinin toprak kalitesine etkisini araştıran yeterli çalışma bulunmamasına rağmen, odun sirkesinin toprak mikrobiyal aktivitesini artırdığı bilinmektedir. Bunun da, odun sirkesinin toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmesi beklenmektedir. Odun sirkesi, çözünür tuzların yıkanması ve toprak pH'sının düşmesi ve dolayısıyla tuzlu topraklarda verimliliğinin artırılması üzerine önemli etkiye sahiptir [65]. Genel olarak, odun sirkesi düşük moleküler ağırlıklı asitler (formik ve asetik), alkoller (metanol) ve alditler bakımından yüksektir ve toprakta oluşan prototrofik bakteriler için bir karbon ve enerji kaynağı olarak hizmet edebilir [66]. Bununla birlikte, yüksek asitlik, metanol ve fenol içeriği, yüksek konsantrasyonda güçlü bakteri yok edici etkiye sahiptir. Bu nedenle, doğru konsantrasyonda uygulandığında odun sirkesi toprağın biyolojik özelliklerini iyileştirebilir.

Rizorferde köklerden salınan organik asitler, ortamın pH'sının düşmesine yardımcı olarak bitkiler için yararlı durumda bulunan fosfor bileşiklerini çözerek, bitki tarafından alımını kolaylaştırırlar. Odun sirkesinin bileşiminde önemli oranda bulunan organik asitlerin de toprak pH'sının düşmesine neden olarak yararlılığı düşük olan besin elementlerinin yararlılığını arttırabilecekleri düşünülmektedir (Şekil 3). Bununla birlikte, bir kompost aktivatörü olarak, organik atığın kompost haline dönüşmesini hızlandırmaya yardımcı olduğu da bildirilmiştir [2].



Şekil 3. Biyokömür ve odun sirkesinin topraktaki rolü [67]

Odun sirkesi, toprak enzim aktivitelerini artırma [16], amonyak volatizasyonunu [68] ve ağır metal toksisitesini azaltma [69] gibi çoklu faydaları nedeniyle toprak iyileştirmede umut verici bir potansiyele sahiptir. Son 25 yılda dünyada azot kaynağı olarak kullanımı sürekli artan üre ile birlikte uygulanan odun sirkesinin, üreaz enzim aktivitesini azaltmasından dolayı azot kullanım etkinliğini artırdığı, aynı zamanda noktasal olmayan çevre kirliliğinin önlenmesinde de etkili olduğu bildirilmiştir [70].

Odun sirkesinde bulunan düşük konsantrasyonlardaki alkol, asit ve aldehitler, toprak mikroorganizmaları için karbon ve enerji substratları olarak hizmet etmektedir [71]. Yararlı mikroorganizmaların popülasyonunu artırmaya yardımcı olmak ve bitki kök büyümesini teşvik etmek için toprak yüzeyine odun sirkesi uygulanabileceği belirtilmiştir [72]. Yapılan bir çalışmada en yüksek mikrobiyal biyokütle içeriği değeri, en düşük odun sirkesi dozu (%1) uygulanan toprakta bulunmuş, ancak artan dozlarda mikrobiyal biyokütle karbon değerinin azaldığı rapor edilmiştir. Daha yüksek uygulama dozlarında (%2 ve %5), çoğu enzimatik aktivitede bir azalma ve toprak kalitesinde bir kayıp olmuştur. Odun sirkesi %1'e varan dozlarda uygulandığında, sonuçlar toprak biyolojisi üzerinde olumsuz bir etki olmadığını ve hatta önemsizde olsa bir gelişme olduğunu göstermiştir [73]. Sera koşullarında, yaprak ve toprak uygulamalarında odun sirkesinin buğdayın gelişimi ile bazı toprak kalitesi indikatörleri üzerine etkisini inceleyen araştırmacılar, toprağın pH, EC, OM, kireç, P ve K içeriklerinin odun sirkesi uygulamalarında kontrole kıyasla istatistiksel olarak önemli olmamakla birlikte farklı olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, sadece toprağın yararlı fosfor içeriğinin kontrol uygulamasına kıyasla önemli derecede ($p < 0.05$) arttığını rapor etmişlerdir [59]. Buğday bitkisinde pestisitler ve odun sirkesinin toprağın pH ve EC değerlerine etkisini belirlemek amacıyla yürütülen bir çalışmada araştırmacılar; pH ve EC'nin kullanılan pestisit ve OS çeşidi ile dozunun fark etmeksizin sadece zamanın (uygulama öncesi, uygulama sonrası ve hasat sonrası) etkili olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak; kullanılan pestisitlerin (önerilen dozda) ve farklı doz odun sirkesinin toprakta belirlenen parametreler üzerinde istatistiksel olarak olumsuz ya da olumlu etki göstermediği, ancak örnekleme zamanının etkili olduğu tespit edilmiştir [74].

Ağır metaller ile kirlenmiş topraklarda metal iyonların adsorpsiyonu ve kompleks oluşturma kapasitesini geliştirmek için hümitik asidin aktive edilmesinde odun sirkesi kullanılabileceği bildirilmiştir [2]. Odun sirkesi içerisinde yer alan hidroksil, fenolik ve karboksil gibi organik grupların fonksiyonel grupları ağır metallerin hareketsizleştirilmesi sürecinde yer alır ve metal ile kolayca etkileşime girebilir. Hümitik asitteki, adsorpsiyon bölgelerini arttırmak odun sirkesi ile birlikte uygulanması tavsiye edilmektedir. Son zamanlarda odun sirkesi bakır, kadmiyum ve nikel gibi kirleticileri uzaklaştırmak için kullanılabileceğine dair raporlar yayınlanmıştır [69]. Odun sirkesinde bulunan organik maddeler doğal olarak şelatlama için çok sayıda adsorpsiyon bölgesine sahip olduğundan metalleri topraktan alınıp daha az yararlı hale gelmelerine katkı verirler [75].

D. Odun Sirkesinin Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi

Biyokütlenin karbonizasyonu sonucunda üretilen ve büyük miktarlarda organik asitler veya bileşenler içeren odun sirkesi; böcek kovucu, koku giderici ve toprak katkı maddesi olarak kullanımının yanı sıra son zamanlarda sera gazı emisyonlarını azaltma etkisi üzerine çalışmalar artmaktadır [76,77]. Hatta biyokömür, zeolit

ve odun sirkesinin birleştirilmesinin CO₂, CH₄ ve N₂O emisyonlarını sırasıyla %34-47, %50-61 ve %79-81 oranında azaltılabileceğini belirtilmiştir. Bu durum, katkı maddelerinin adsorpsiyon kabiliyeti ve odun sirkesi ile birlikte biyofiltre etkisi ile açıklanmaktadır [78]

Yapılan araştırmalar, çeltik tarlalarına uygulanan azotlu gübrenin yaklaşık %13.2 ile %47.0'sinin NH₃ volatize yoluyla kaybolduğunu göstermektedir. NH₃ volatizasyonu sadece azot kullanım etkinliğini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda hidrografik ve atmosferik kirliliğe de neden olur. Bu nedenle, sürdürülebilir tarım uygulamalarını içeren uygulamalar ile çeltik tarlalarından NH₃ volatizasyonunun azaltılması büyük önem taşımaktadır [79]. Odun sirkesi ve biyokömürün birlikte uygulamasının, çeltik yetiştirilen topraktan N₂O ve CH₄ emisyonlarını daha etkili bir şekilde azalttığı ve aynı zamanda çeltik verimini artırdığı rapor edilmiştir [80]. Mısır silajının depolanması esnasında ortaya çıkan CO₂ gazı emisyonuna odun sirkesinin etkisini araştıran Guo ve ark. [81] odun sirkesinin, laktik asit içeriğini artırırken, pH'yı, amonyak-N içeriğini, butirik asit içeriğini ve koliform bakteri sayılarını azalttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, odun sirkesi uygulaması *Lactobacillus*'un nispi zenginliğini arttırmış ve *Enterobacter* ve *Lachnoclostridium* gibi zararlı bakterilerin nispi zenginliğini de azaltmıştır. Odun sirkesinin ilavesi, özellikle CO₂ olmak üzere gaz üretimini azaltmıştır. Aynı zamanda CO₂ üreten bakteriler türlerinin ve CO₂ fiksasyonu potansiyeli olan cinslerin nispi bolluğunu da arttırmıştır. Dünya çapındaki silaj üretimi göz önüne alındığında, odun sirkesi uygulamasının silaj depolamada ortaya çıkan büyük miktardaki CO₂ emisyonlarını azaltarak küresel ısınmayı azaltmada etkili bir yöntem olarak uygulanabileceği belirtilmiştir.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Biyokütlenin karbonizasyonu esnasında ortaya çıkan, pirolignöz asit olarak da tanımlanan odun sirkesinin üretimi, tarımda kullanım olanakları ve çevreye olan etkileri üzerine olan ilgi artmaya devam etmektedir. Odun sirkesi, toprak veya yaprak gübresi ve bitki büyüme düzenleyicileri için biyolojik kaynak ve farklı katma değerli ürün ve kimyasalların üretiminde potansiyel sürdürülebilir öncü madde olarak da her geçen gün daha fazla ilgi çekmektedir. Odun sirkesinin toprak özelliklerini iyileştirmek adına organik bir girdi olması ve zararlılar ile mücadelede pestisitlere oranla çabuk parçalanmasının gelecekte odun sirkesine olan ilgiyi arttırması beklenmektedir. Piroliz işlemi sırasında, yan ürün olarak elde edilen odun sirkesinin, tarımsal faaliyetlerde özellikle biyopestisit ile kovucu etkisinin, biyogübre ve toprak iyileştirici etkilerinin yapılacak tarla ve sera denemelerinde test edilmesi önemlidir.

Odun sirkesi uygulamaları sonucu yayınlanan raporların önemli bir kısmında, odun sirkesinin tarımsal üretimde verimliliği arttırabilecek ve aynı zamanda entegre zararlı mücadelesinde kullanılacak değerli bir ürün olduğu ortaya koyulmuştur. Özellikle toprağın sahip olduğu çeşitli fonksiyonlar üzerine etkisi konusunda araştırmalar yeterli olmamasına rağmen tarımda odun sirkesinin kullanımının, toprak kalitesini ve ekosistem hizmetlerini iyileştirme potansiyeli olduğu düşünülmektedir. Odun sirkesi ile ilgili devam eden çalışmalara ait raporlar, odun sirkesinin tarım ve çevre yönetiminde üretimi ve daha geniş kullanımı için dikkate değer bir potansiyeli olduğuna işaret etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Demirbaş, A. (2002). Partly chemical analysis of liquid fraction of flash pyrolysis products from biomass in the presence of sodium carbonate, *Energy Convers. Manage.* 43: 1801–1809.
- [2] Grewal, A., Abbey, L., & Gunupuru, L. R. (2018). Production, prospects and potential application of pyrolygneous acid in agriculture. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 135, 152-159.
- [3] Crepier, J., Le Masle, A., Charon, N., Albrieux, F., Duchene, P., & Heinisch, S. (2018). Ultra-high performance supercritical fluid chromatography hyphenated to atmospheric pressure chemical ionization high resolution mass spectrometry for the characterization of fast pyrolysis bio-oils. *Journal of Chromatography B*, 1086, 38-46.
- [4] Akkurt, B., Günel, H., Erdem, H., & Günel, E. (2020). Piroliz sıcaklığının biyoçarların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8(1), 1-13.
- [5] Burnette, R. (2010). An introduction to wood vinegar. ECHO Asia Regional Office, http://majidorganic.ir/wp-content/uploads/2015/11/Wood_Vinegar.pdf Erişim tarihi 11 Eylül 2021.
- [6] Mopoung, S., & Udeye, V. (2015). Wood charcoal and wood vinegar production from mango tree wood by using 3 m 3 carbonization dome kiln. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 10(5), 1911-1922.

- [7] Ogawa, M., & Okimori, Y. (2010). Pioneering works in biochar research, Japan. *Soil Research*, 48(7), 489-500.
- [8] Li, Z., Wu, L., Sun, S., Gao, J., Zhang, H., Zhang, Z., & Wang, Z. (2019). Disinfection and removal performance for *Escherichia coli*, toxic heavy metals and arsenic by wood vinegar-modified zeolite. *Ecotoxicology and environmental safety*, 174, 129-136.
- [9] Zhang, F., Shao, J., Yang, H., Guo, D., Chen, Z., Zhang, S., & Chen, H. (2019). Effects of biomass pyrolysis derived wood vinegar on microbial activity and communities of activated sludge. *Bioresource technology*, 279, 252-261.
- [10] Pangnakorn, U., Kanlaya, S., & Kuntha, C. (2011). Efficiency of wood vinegar and extracts from some medicinal plants on insect control. *Advances in Environmental Biology*, 5(2), 477-482.
- [11] Apai, W., & Thongdeethae, S. (2001). Wood vinegar: new organic for Thai Agriculture. In *The 4 th Toxicity Division Conference, Department of Agriculture*, 166-169.
- [12] Fagernäs, L., Kuoppala, E., & Arpiainen, V. (2015). Composition, utilization and economic assessment of torrefaction condensates. *Energy & Fuels*, 29(5), 3134-3142.
- [13] Zheng, H., Sun, C., Hou, X., Wu, M., Yao, Y., & Li, F. (2018). Pyrolysis of *Arundo donax* L. to produce pyrolytic vinegar and its effect on the growth of dinoflagellate *Karenia brevis*. *Bioresource technology*, 247, 273-281.
- [14] Simma, B., Polthanee, A., Goggi, A. S., Siri, B., Promkhambut, A., & Caragea, P. C. (2017). Wood vinegar seed priming improves yield and suppresses weeds in dryland direct-seeding rice under rainfed production. *Agronomy for sustainable development*, 37(6), 1-9.
- [15] Lashari, M. S., Liu, Y., Li, L., Pan, W., Fu, J., Pan, G., ... & Yu, X. (2013). Effects of amendment of biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution on soil quality and wheat yield of a salt-stressed cropland from Central China Great Plain. *Field Crops Research*, 144, 113-118.
- [16] Polthanee, A., Kumla, N., & Simma, B. (2015). Effect of *Pistia stratiotes*, cattle manure and wood vinegar (pyroligneous acid) application on growth and yield of organic rainfed rice. *Paddy and water environment*, 13(4), 337-342. *Pyrolysis*, 135, 152-159.
- [17] Sun, H., Feng, Y., Ji, Y., Shi, W., Yang, L., & Xing, B. (2018). N₂O and CH₄ emissions from N-fertilized rice paddy soil can be mitigated by wood vinegar application at an appropriate rate. *Atmospheric Environment*, 185, 153-158.
- [18] Mathew, S., & Zakaria, Z. A. (2015). Pyroligneous acid—the smoky acidic liquid from plant biomass. *Applied microbiology and biotechnology*, 99(2), 611-622.
- [19] Tiilikkala, K., Fagernäs, L., & Tiilikkala, J. (2010). History and use of wood pyrolysis liquids as biocide and plant protection product.
- [20] Bahcivanji, L., Gasco, G., Paz-Ferreiro, J., & Mendez, A. (2020). The effect of post-pyrolysis treatment on waste biomass derived hydrochar. *Waste Management*, 106, 55-61.
- [21] Mun, S. P., & Ku, C. S. (2010). Pyrolysis GC-MS analysis of tars formed during the aging of wood and bamboo crude vinegars. *Journal of wood science*, 56(1), 47-52.
- [22] Theapparatt, Y., Chandumpai, A., & Faroongsarng, D. (2018). Physicochemistry and utilization of wood vinegar from carbonization of tropical biomass waste. *Tropical Forests*, 163-183.
- [23] Souza, J. B. G., Ré-Poppi, N., & Raposo Jr, J. L. (2012). Characterization of pyroligneous acid used in agriculture by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23(4), 610-617.
- [24] Cardelli, R., Becagli, M., Marchini, F., & Saviozzi, A. (2020). Soil biochemical activities after the application of pyroligneous acid to soil. *Soil Research*, 58(5), 461-467.
- [25] Bridgwater, A. V., Meier, D., & Radlein, D. (1999). An overview of fast pyrolysis of biomass. *Organic geochemistry*, 30(12), 1479-1493.

- [26] Kacem, I., Koubaa, M., Maktouf, S., Chaari, F., Najar, T., Chaabouni, M., ... & Chaabouni, S. E. (2016). Multistage process for the production of bioethanol from almond shell. *Bioresource technology*, 211, 154-163.
- [27] Mmojieje, J., & Hornung, A. (2015). The potential application of pyroligneous acid in the UK agricultural industry. *Journal of Crop Improvement*, 29(2), 228-246.
- [28] Mungkunkamchao, T., Kesmla, T., Pimratch, S., Toomsan, B., & Jothityangkoon, D. (2013). Wood vinegar and fermented bioextracts: Natural products to enhance growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 154, 66-72.
- [29] Kadota, M., & Niimi, Y. (2004). Effects of charcoal with pyroligneous acid and barnyard manure on bedding plants. *Scientia Horticulturae*, 101(3), 327-332.
- [30] Mangano, S., Pacheco, J. M., Marino-Buslje, C., & Estevez, J. M. (2018). How does pH fit in with oscillating polar growth?. *Trends in plant science*, 23(6), 479-489.
- [31] Tsuzuki, E., Wakiyama, Y., Eto, H., & Handa, H. (1989). Effect of pyroligneous acid and mixture of charcoal with pyroligneous acid on the growth and yield of rice [*Oryza sativa*] plant. *Japanese Journal of Crop Science (Japan)*.
- [32] Kadota, M., Hirano, T., Imizu, K., & Niimi, Y. (2002). Pyroligneous acid improves in vitro rooting of Japanese pear cultivars. *HortScience*, 37(1), 194-195.
- [33] Wei, Q., Liu, G., Wei, X., Ma, X., Xu, D., & Dong, R. (2009). Influence of wood vinegar as leaves fertilizer on yield and quality of celery. *Journal of China Agricultural University*, 14(1), 89-92.
- [34] Mu, J., Uehara, T., & Furuno, T. (2004). Effect of bamboo vinegar on regulation of germination and radicle growth of seed plants II: composition of moso bamboo vinegar at different collection temperature and its effects. *Journal of Wood Science*, 50(5), 470-476.
- [35] Mu, J., Yu, Z. M., Wu, W. Q., & Wu, Q. L. (2006). Preliminary study of application effect of bamboo vinegar on vegetable growth. *Forestry Studies in China*, 8(3), 43-47.
- [36] Mahmud, K. N., Yahayu, M., Sarip, S. H. M., Rizan, N. H., Min, C. B., Mustafa, N. F., ... & Zakaria, Z. A. (2016). Evaluation on efficiency of pyroligneous acid from palm kernel shell as antifungal and solid pineapple biomass as antibacterial and plant growth promoter. *Sains Malaysiana*, 45(10), 1423-1434.
- [37] Steiner, C., de Arruda, M. R., Teixeira, W. G., & Zech, W. (2007). Soil respiration curves as soil fertility indicators in perennial central Amazonian plantations treated with charcoal, and mineral or organic fertilisers. *Tropical Science*, 47(4), 218-230.
- [38] Tsuzuki, E., Morimitsu, T., & Matsui, T. (2000). Effect of chemical compounds in pyroligneous acid on root growth in rice plant. *Report of the Kyushu Branch of the Crop Science Society of Japan*, (66), 15-16.
- [39] Uddin, S., M. M., Murayama, S., Ishimine, Y., Tsuzuki, E. H., & Harada, J. (1995). J. Effect of the Mixture of Charcoal with Pyroligneous Acid on dry mather production and root growth of summer planted sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Japan Journal Crop Science, Bankyo-ku, Tokyo*, 64(4), 747-753.
- [40] Shibayama, H., Mashima, K., Mitsutomi, M., & Arima, S. (1998). Effects of application of pyroligneous acid solution produced in Karatsu city on growth and free sugar contents of storage roots of sweet potato. *Marine and Highland Bioscience Center Report-Saga University (Japan)*.
- [41] Zulkarami, B., Ashrafuzzaman, M., Husni, M. O., & Ismail, M. R. (2011). Effect of pyroligneous acid on growth, yield and quality improvement of rockmelon in soilless culture. *Australian Journal of Crop Science*, 5(12), 1508.
- [42] FFTC (Food & Fertilizer Technology Center). (2005). Wood Vinegar. Accessed on December 2, 2008. Available at: <http://www.fftc.agnet.org/library/pt/2005025/>.
- [43] Tipparak, S., Jothityangkoon, D., & Polthanee, A. (2007). Effect of wood vinegar and farm yard manure on growth and yield of KDML 105 rice. *Kaen Kaset*.

- [44] Wang, Y., Qiu, L., Song, Q., Wang, S., Wang, Y., & Ge, Y. (2019). Root proteomics reveals the effects of wood vinegar on wheat growth and subsequent tolerance to drought stress. *International journal of molecular sciences*, 20(4), 943.
- [45] Zhu, K., Gu, S., Liu, J., Luo, T., Khan, Z., Zhang, K., & Hu, L. (2021). Wood Vinegar as a Complex Growth Regulator Promotes the Growth, Yield, and Quality of Rapeseed. *Agronomy*, 11(3), 510.
- [46] Luo, X., Wang, Z., Meki, K., Wang, X., Liu, B., Zheng, H., ... & Li, F. (2019). Effect of co-application of wood vinegar and biochar on seed germination and seedling growth. *Journal of Soils and Sediments*, 19(12), 3934-3944.
- [47] Orihashi, K., Kojima, Y., & Terazawa, M. (2001). Deterrent effect of rosin and wood tar against barking by the gray-sided vole (*Clethrionomys rufocanus bedfordiae*). *Journal of Forest Research*, 6(3), 191.
- [48] Kim, S. K., Kim, K. S., Lee, Y. H., & Kim, Y. H. (2001). Compostion of constituents of commercial wood vinegar liquor in Korea. *Applied Biological Chemistry*, 44(4), 262-268.
- [49] Baimark, Y., & Niamsa, N. (2009). Study on wood vinegars for use as coagulating and antifungal agents on the production of natural rubber sheets. *Biomass and Bioenergy*, 33(6-7), 994-998.
- [50] Velmurugan, N., Chun, S. S., Han, S. S., & Lee, Y. S. (2009). Characterization of chikusaku-eki and mokusaku-eki and its inhibitory effect on sapstaining fungal growth in laboratory scale. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 6(1), 13-22.
- [51] Wititsiri, S. (2011). Production of wood vinegars from coconut shells and additional materials for control of termite workers, *Odontotermes* sp. and striped mealy bugs, *Ferrisia virgata*. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 33(3).
- [52] Yatagai, M., Nishimoto, M., Hori, K., Ohira, T., & Shibata, A. (2002). Termiticidal activity of wood vinegar, its components and their homologues. *Journal of Wood Science*, 48(4), 338-342.
- [53] Tworokski, T. (2002). Herbicide effects of essential oils. *Weed science*, 50(4), 425-431.
- [54] Salonen, J., Tiilikkala, K., Ruuttunen, P., Lindqvist, I., & Lindqvist, B. (2008). Birch Tar Oil: A Potential Herbicide from the Forests of Finland. In *Abstracts of the 5th International Weed Science Congress. Weeds local problems/global challenge. Vancouver, British Columbia, Canada, June 23-27, 2008. IWSS*.
- [55] Ruuttunen, P. (2007). Evaluation of birch oil distillate for weed control in potato. *Trial Report*.
- [56] Koç, İ., Yıldız, Ş., & Yardım, E. N. (2020). A Research On The Effects Of Pesticides And Wood Vinegar On Weeds And Cultivated Plants In Wheat Agro-Ecosystem. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(2), 94-106.
- [57] Koç, İ., Yardım, E. N., & Yıldız, Ş. (2017). In Vitro Şartlarında Küf Etmenlerine Karşı Tavuk Gübresinden Elde Edilmiş Odun Sirkesinin Antifungal Etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(4), 516-520.
- [58] Gao, T., Bian, R., Joseph, S., Taherymoosavi, S., Mitchell, D. R., Munroe, P., ... & Shi, J. (2020). Wheat straw vinegar: A more cost-effective solution than chemical fungicides for sustainable wheat plant protection. *Science of The Total Environment*, 725, 138359.
- [59] Namlı, A., Akça, M. O., Turgay, E. B., & Soba, M. R. (2014). Odun sirkesinin tarımsal kullanım potansiyelinin araştırılması. *Toprak Su Dergisi*, 3(1), 44-52.
- [60] Koç, I & Namlı, A., (2020). Odun Sirkesinin Önemi ve Geleceği, Geleceğin Dünyasında Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar 2020 Doğa Bilimleri Ve Ziraat/I., 72-84.
- [61] Shan, X., Liu, X., & Zhang, Q. (2018, March). Impacts of adding different components of wood vinegar on rape (*Brassica napus* L.) seed germination. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 128, No. 1, p. 012183). IOP Publishing.
- [62] Theapparath, Y., Chandumpai, A., Leelasuphakul, W., & Laemsak, N. (2015). Pyroligneous acids from carbonisation of wood and bamboo: their components and antifungal activity. *Journal of Tropical Forest Science*, 517-526.

- [63] Koç, İ. (2019). Study of some biological parameters of the red Californian earthworm *Eisenia Foetida* (Savigny, 1826) in vermicompost following the application of wood vinegar. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 4527-4538.
- [64] Koç, İ. (2019). Investigation of the effect of wood vinegar produced from chicken manure and nutshells on soil nematodes in the pasture area of Bitlis province. IESS 2019, International Engineering and Science Symposium'19, 20-22 June, 2019. 1243-1250, Siirt.
- [65] Lashari, M. S., Ye, Y., Ji, H., Li, L., Kibue, G. W., Lu, H., ... & Pan, G. (2015). Biochar–manure compost in conjunction with pyroligneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: a 2- year field experiment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1321-1327.
- [66] Benzon, H. R. L., Rubenecia, M. R. U., Ultra Jr, V. U., & Lee, S. C. (2015). Chemical and biological properties of paddy soil treated with herbicides and pyroligneous acid. *Journal of agricultural science*, 7(4), 20.
- [67] Zhang, Y., Wang, X., Liu, B., Liu, Q., Zheng, H., You, X., ... & Li, F. (2020). Comparative study of individual and Co-Application of biochar and wood vinegar on blueberry fruit yield and nutritional quality. *Chemosphere*, 246, 125699.
- [68] Win, K. T., Toyota, K., Motobayashi, T., & Hosomi, M. (2009). Suppression of ammonia volatilization from a paddy soil fertilized with anaerobically digested cattle slurry by wood vinegar application and floodwater management. *Soil science and plant nutrition*, 55(1), 190-202.
- [69] Liu, L., Guo, X., Wang, S., Li, L., Zeng, Y., & Liu, G. (2018). Effects of wood vinegar on properties and mechanism of heavy metal competitive adsorption on secondary fermentation based composts. *Ecotoxicology and environmental safety*, 150, 270-279.
- [70] Lee, J., Park, H. J., Cha, S. J., Kwon, S. J., & Park, J. H. (2021). Effect of pyroligneous acid on soil urease, amidase, and nitrogen use efficiency by Chinese cabbage (*Brassica campestris* var. *Pekinensis*). *Environmental Pollution*, 118132.
- [71] Steiner, C., Das, K. C., Garcia, M., Förster, B., & Zech, W. (2008). Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralsol. *Pedobiologia*, 51(5-6), 359-366.
- [72] Masum, S. M., Malek, M., Mandal, M. S. H., Haque, M. N., & Akther, Z. (2013). Influence of plant extracted pyroligneous acid on transplanted aman rice. *World J. Exp. Biosci*, 4, 31-34.
- [73] Cardelli, R., Becagli, M., Marchini, F., & Saviozzi, A. (2020). Soil biochemical activities after the application of pyroligneous acid to soil. *Soil Research*, 58(5), 461-467.
- [74] Koç, İ., & Yardım, E. N. (2019). Pestisitlerin ve Odun Sirkesinin Bazı Mikrobiyal ve Fiziko-Kimyasal Toprak Parametrelerine Etkilerinin Araştırılması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(6), 896-904.
- [75] Benzon, H.R.L., & Lee, S.C. (2017) Pyroligneous acids enhance phytoremediation of heavy metal-contaminated soils using mustard. *Commun Soil Sci Plan* 48(5):1–13
- [76] Chen, Y. X., Huang, X. D., Han, Z. Y., Huang, X., Hu, B., Shi, D. Z., & Wu, W. X. (2010). Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar on nitrogen conservation and heavy metals immobility during pig manure composting. *Chemosphere*, 78(9), 1177-1181.
- [77] Zhang, L., & Sun, X. (2015). Effects of earthworm casts and zeolite on the two-stage composting of green waste. *Waste management*, 39, 119-129.
- [78] Wang, Q., Awasthi, M. K., Ren, X., Zhao, J., Li, R., Wang, Z., & Zhang, Z. (2018). Combining biochar, zeolite and wood vinegar for composting of pig manure: the effect on greenhouse gas emission and nitrogen conservation. *Waste management*, 74, 221-230.
- [79] Pan, B., Lam, S. K., Mosier, A., Luo, Y., & Chen, D. (2016). Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: a global synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 232, 283-289.

- [80] Feng, Y., Li, D., Sun, H., Xue, L., Zhou, B., Yang, L., & Xing, B. (2020). Wood vinegar and biochar co-application mitigates nitrous oxide and methane emissions from rice paddy soil: A two-year experiment. *Environmental Pollution*, 267, 115403.
- [81] Guo, X., Zheng, P., Zou, X., Chen, X., & Zhang, Q. (2021). Influence of Pyroligneous Acid on Fermentation Parameters, CO₂ Production and Bacterial Communities of Rice Straw and Stylo Silage. *Frontiers in Microbiology*, 12, 1862.

Derleme Makalesi - Review Article

Kaba Yem Kaynağı Olarak Şerbetçi Otu (*Humulus lupulus* L.)

Hop (*Humulus lupulus* L.) as a Roughage Source

Erdem Gülümser^{1*}, Hanife Mut², Uğur Başaran³, Medine Çopur Doğrusöz⁴

Geliş / Received: 22/11/2021

Revize / Revised: 03/03/2022

Kabul / Accepted: 20/03/2022

ÖZ

Türkiye'de üretilen yem bitkileri mevcut hayvan varlığının ihtiyaç duyduğu kaliteli kaba yemi karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle alternatif kaba yem kaynaklarının rasyonlara dâhil edilmesi gerekmektedir. Bazı bitkiler içermiş olduğu sekonder metabolitler (fenolik, flavonoid, kondanse tanen, vb.) ile rumen sağlığı ve hayvan üretkenliği açısından önem teşkil etmektedir. Bu metabolitler rumen fermantasyonu, şişkinlik ve asidoz gibi beslenme streslerini kontrol altına alırken, doğal antibiyotik olarak kullanılabilir. Halk arasında "Bira çiçeği" olarak da bilinen şerbetçi otu (*Humulus lupulus* L.) kenevirgiller familyasından tırmanıcı gövdeli ve çok yıllık otsu bir bitkidir. Şerbetçi otunun sap ve yaprak gibi kullanılmayan kısımları bira üretiminde kullanılan kısımlarından daha fazladır. Bitki önemli miktarda polifenol, ham protein ve ham kül içermekte olup, sindirilebilirliği de yüksektir. Ayrıca, şerbetçi otu içermiş olduğu kondanse tanen sayesinde amonyak üretimini inhibe ederek sera gazı salınımının azaltılmasına da katkı sağlamaktadır. Bu derlemede, şerbetçi otunun kaba yem kaynağı olarak değerlendirilebilmesi hakkında bilgiler verilerek, ulusal literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler- Şerbetçi Otu, Yem Bitkisi, Hayvan Sağlığı, Sera Gazı

ABSTRACT

In Turkey, roughages are insufficient to meet the quality roughage needed by the existing livestock population. For this reason, alternative roughage sources should be included in the rations. Some plants are important in terms of rumen health and animal productivity with contain the secondary metabolites (phenolic, flavonoid, condensed tannin, etc.). While these metabolites control nutritional stresses, such as rumen fermentation, bloating and acidosis, they can also be used as natural antibiotics. The hop (*Humulus lupulus* L.) is known as "beer flower" among the people and is a perennial herbaceous plant with a climbing stem from the cannabis family. The unused parts of hops such as stems and leaves are more than the parts used in beer production. The plant contains a significant amount of polyphenols, crude protein and crude ash, it has a high digestibility. Besides, hop has condensed tannin, therefore, it inhibits ammonia production and contributes to the reduction of greenhouse gas emissions. In this review, it is aimed to give information about the evaluation of hops as a fodder crops and to contribute to the national literature.

Keywords- Hops, Forage Crop, Animal Health, Greenhouse Gas

*Sorumlu yazar iletişim: erdem.gulumser@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-6291-3831>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkez, Bilecik, Türkiye

²İletişim: hanife.mut@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-5814-5275>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Merkez, Bilecik, Türkiye

³İletişim: ugur.basaran@yobu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-6644-5892>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Merkez, Yozgat, Türkiye

⁴İletişim: medine.copur@yobu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9159-1699>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Merkez, Yozgat, Türkiye

I. GİRİŞ

Son yüzyılda ve özellikle 1950’li yıllardan sonra bilimsel gelişmeler ve mekanizasyonun yaygınlaşmasına paralel olarak tarımsal alanda önemli düzeyde üretim artışı sağlanmıştır. Ancak bütün bu gelişmelere rağmen gelecekte gıda arzı konusunda sorunlar yaşanması beklenmektedir. Tüm dünyada meydana gelen iklim değişikliği, tarım alanlarının azalması, üretim maliyetlerinin artması, sosyo-kültürel değişim ve kırsal göç gibi birçok sorun, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini ve insanlığın ihtiyacını karşılayacak düzeyde artmasını engellemektedir. Bu sürecin orta ve uzun dönemde tüm insanlığı tehdit etmesi kaçınılmazdır. Ancak, özellikle geri kalmış ve gelişmekte olan ülkelerde yeterli gıdaya ulaşım günümüzde dahi ciddi bir sorun halindedir. Mevcut tablo ve geleceğe ilişkin öngörüler insanlığı tarımsal üretim alanında kaynakların daha etkin ve sürdürülebilir kullanımını sağlayacak planlamalar yapmaya zorunlu kılmaktadır.

Gıda sorunu genellikle toplam miktarlar üzerinden değerlendirilir. Ancak bazen gıdaların içeriği de önemli bir sorun olabilmektedir. Bir insanın yeterli ve dengeli beslenebilmesi için tüketmesi gereken günlük ortalama protein miktarı 70 gramdır [1]. Bunun yarısı hayvansal gıdalardan yarısı bitkisel gıdalardan karşılanmalıdır. Bitkisel kökenli aminoasitlerin sindiriminin hayvansal kökenlilere oranla güç olması bitkisel ürünlerden faydalanmayı azaltmaktadır. Dolayısıyla sadece bitkisel ürünlerin değil, bununla birlikte hayvansal ürünlerin de insan vücudu için gerekliliği yadsınamaz bir gerçektir.

Türkiye’de kişi başına tüketilen günlük protein miktarı gelişmekte olan ülkeler ve dünya ortalaması ile aynı düzeydedir. Tüketilen proteinin büyük bir kısmı bitkisel ürünlerden, az bir kısmı ise hayvansal ürünlerden karşılanmaktadır. Bu nedenle toplumumuzun çoğunda hayvansal ürünlerin yetersiz tüketimine bağlı olarak mikro, makro besin elementleri (Ca ve Fe) ve vitamin (A vitamini) eksiklikleri ortaya çıkabilmektedir [2].

Bu derleme ile alternatif bir kaba yem kaynağı olarak değerlendirilebilecek şerbetçi otu hakkında bilgiler verilerek, ulusal literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

II. TÜRKİYE’DE YEM BİTKİLERİ TARIMININ DURUMU

Türkiye’de toplam işlenebilir tarım alanı 23.185 milyon hektar olup, tahıllar ve diğer bitkisel ürünlere ait alanlar ise 15.421 milyon hektardır. Nadas alanları 3.513 milyon hektar ile toplam işlenebilir tarım alanlarının %15’ini oluşturmaktadır. Çayır-mera alanları 14.167 milyon ha iken, yem bitkileri üretim alanı ise 2 milyon ha civarındadır [3].

Türkiye’de son verilere göre 17.220.903 büyükbaş ve 46.117.399 küçükbaş hayvan varlığı (19.042.278 BBHB) bulunmaktadır. Mevcut hayvan varlığının yıllık tüketmesi gereken kaliteli kaba yem miktarı ise 86 milyon tondur. Ülkemizde yem bitkileri ekim alanları ve çayır meralardan elde edilen kaba yem miktarı 31 milyon ton olup, açık 55 milyon tondur [3].

Türkiye ile Avrupa ülkeleri arasında kaliteli kaba yem eksikliğinden dolayı hayvan verim ve kalitesi arasında fark bulunmaktadır. Avrupa ülkelerinde 278 kg civarında olan karkas ağırlığı, Türkiye’de 183 kg civarındadır [4]. Bu açıklamalar ışığı altında, mevcut yem açığının kapatılması ve hayvansal verimin iyileştirilmesi için çayır-mera alanlarının ıslahının ve yem bitkilerinin üretiminin artırılmasının yanı sıra alternatif kaba yem kaynaklarının da rasyonlara dâhil edilmesi faydalı olacaktır. Diğer taraftan her yıl bitkilerin hasadı veya sanayide işlenmeleri sonrasında çok miktarlarda atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların çok büyük bir kısmı hayvan beslemede kullanılabilir niteliktedir. Özellikle tahıl hasat atıkları, şeker ve yağ endüstrisi atıklarının kullanımı Türkiye’de yaygındır. Buna rağmen halen değerlendirilmeden heba olan tarımsal atıklar da bulunmaktadır. Bu kaynakların atıl kalması, kültürel eksiklik, besleme değerlerinin bilinmemesi, depolama sorunu, işgücü ve ekonomik maliyet gibi çok nedene bağlanabilir. Söz konusu atıkların değerlendirilmesi için çiftçimizin bilinçlendirilmesi önemli bir adımdır. Ancak bunun öncesinde atıkların besleme değerlerinin, hayvan sağlığı üzerindeki etkilerinin ve uygun depolama yöntemlerinin bilimsel çalışmalarla ortaya konması gerekmektedir.

Son yıllarda birçok alanda olduğu gibi, hayvan sağlığı konusunda da bilinç düzeyi artmış ve doğal ürünlerin kullanımı gündeme gelmiştir. Günümüzde birçok bitkinin hayvan beslemedeki rolleri yanında hayvan sağlığı içinde önemli olduğu bilinmektedir. Hatta bazı bitkilerin sadece hayvan sağlığı dikkate alınarak ve belirli oranlarda kullanımı da söz konusudur. Esasında birçok bitki sadece bu amaçla dikkate alınmaktadır. Bu durum hayvansal üretimde, miktarca çok yüksek olmayan ancak içeriğinde hayvan sağlığına iyi gelebilecek kimyasalları barındıran bitki veya bitkisel üretim atıklarının da potansiyel değerini ortaya koymaktadır.

III. HAYVAN BESLEME VE FİTOTERAPİ

Tıbbi özellik gösteren bitkiler son dönemlerde hayvan hastalıklarının tedavisinde alternatif bir rol üstlenmektedir. Bu bitkilerin hayvan sağlığı açısından önemi çok öncelerde ortaya koyulmuş olsa da, kantitatif verilere dayalı bulguların azlığı, değerini belirtmede yetersiz kalmıştır [5]. Nitekim bu bitkiler farklı bakteriyel patojenlere karşı organik antibiyotik aktivitelere de sahiptir [6]. Kowalczyk ve ark. [7] hayvan beslemede dışarıdan destekli antibiyotik kullanımının 2006 yılında yasaklandığını, bu nedenle içermiş olduğu sekonder metabolitler ile tıbbi özelliği olan bu bitkilerin antibiyotiklere karşı alternatif olarak kullanılabilceğini bildirmiştir.

Ruminantların beslenmesi üzerine yapılan çalışmalarda bitkilerin içermiş olduğu fenolik ve flavonoidlerin rumen sağlığı ve hayvan üretkenliği açısından çok önemli olduğu ortaya konulmuştur [8-10]. Dohi ve ark [11] fenolik bileşikler içeren bitkiler ile beslenen hayvanlarda, yem alımının dolayısıyla da hayvan veriminin arttığını bildirmişlerdir. Santos-Neto ve ark. [12] ile Frozza ve ark. [13] ise bu bileşiklerin antioksidan ve antimikrobiyal etkilere sahip olduğunu belirtmektedirler. Diğer taraftan flavonoidler ile fenolik bileşikler, rumen fermantasyonu, şişkinlik ve asidoz gibi beslenme streslerini de kontrol altına almaktadır [14,15]. Ayrıca fenolik bileşikler silajda fermantasyonu teşvik ederken, silaja aromatik bir tat verir ve silajın lezzetini artırır.

IV. KÜRESEL ISINMA VE YEM BİTKİLERİ

Sanayi devrimini ile başlayan ve gitgide hızlanan bir küresel ısınma sorunu ile karşı karşıyayız. Atmosferdeki karbon dioksit, metan ve azot oksit gazları ile su buharı yoğunluğunun artması küresel ısınmanın nedenleri başında gelmektedir. Bu gazların salınımını hızlandıran etmelerin arasında ise solunum, fermantasyon, endüstriyel faaliyetler ve motorlu taşıtlar ile tarımsal faaliyetler gelmektedir.

Uluslararası İklim Değişikliği Paneline göre, atmosferdeki karbondioksit yoğunluğunun son 60 yılda 300 ppm'den 400 ppm'e yükseldiği bildirmektedir. Bu durumun dünya ortalama sıcaklığında 10 °C artışa ve dünya üzerindeki buzulların hızla erimesi ile de deniz suyu seviyesinde 20 cm kadar yükselmeye neden olduğu tahmin edilmektedir [16]. Türkiye'de son verilere göre atmosfere yılda 506.1 milyon ton kadar CO₂ salınımı olduğu, toplam sera gazı emisyonlarında en büyük payı ise % 72 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken, bunu sırasıyla % 13.4 ile tarım ve %11.2 ile endüstriyel işlemler ve % 3.4 ile atık sektörü takip etmiştir. [17,18].

Küresel ısınmaya neden olan tarımsal faaliyetler arasında en fazla etkinin hayvansal atıklardan kaynaklandığı bilinmektedir. Bu durum hayvanlardan salınan gazlar ve atıkların küresel ısınmaya yol açacak kadar güçlü bileşikler (CH₄, CO₂, N₂O) içermelerinden kaynaklanmaktadır. Atmosfere salınan metan gazının %21-25'i ruminantların sindirim sisteminde üretilmektedir [19]. Örneğin, 27 Avrupa Birliği ülkesi tarafından yapılan bir çalışmada; 1 kg sığır eti üretimi için ortalama net 22.6 kg CO₂ –eq eşdeğeri sera gazının atmosfere salındığı, bu değer tavuk etinde 1.6, süt üretiminde 1.3, domuz eti için 3.5 ve yumurta üretiminde 1.7 kg CO₂ –eq olduğu tahmin edilmektedir [20]. Yine Kanada'da 1 kg karkas sığır eti üretimi için C ayak izinin 22 kg CO₂ –eq olduğu ve bunun %63'ünün sindirim sisteminde üretilen metandan kaynaklandığı bildirilmektedir [21].

Rumen fermantasyonu sırasında oluşan metan gazı salınımının azaltılması için başvurulan yöntemlerin en başında kaliteli kaba yemler gelmektedir. Gür ve Öztürk [22] düşük vitamin, mineral, protein ve enerji içeriğine sahip kalitesiz kaba yemlerle beslenen hayvanların fermantasyon performansının düştüğünü ve böylece metan üretiminin yükseldiğini bildirmiştir. Bu nedenle saman gibi ot kalitesi düşük yemler yerine yonca, yulaf ve sorgum gibi bitkilerin tercih edilmesi ile metan üretimi %33.0 oranında azaltılmaktadır [23].

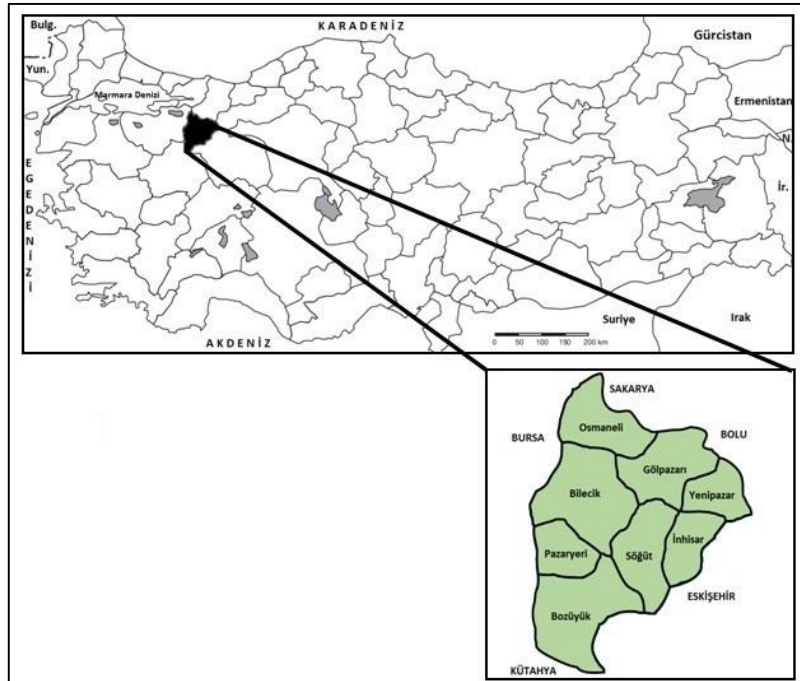
Diğer taraftan kondanse tanenler bakımından zengin olan kaba yemlerin hayvan beslemede tercih edilmesi de metan üretimini azaltmaktadır [24]. Kondanse tanenler, rumende hidrojen üreten protozoolar ve doğrudan hidrojen kullanan metan üretici organizmaları engelleyerek etki göstermektedir [25]. Böylece, çevreye salınan sera gazının miktarı da azalmaktadır. Gür ve Öztürk [22] ruminantların rasyonuna kondanse tanen bakımından zengin kaba yemlerin ilave edilmesinin metan gazı salınımını %55.0 oranında azalttığını bildirmiştir.

V. ŞERBETÇİ OTU (*HUMULUS LUPULUS L.*)

Halk arasında “Mayaotu” veya “Bira çiçeği” olarak da bilinen şerbetçi otu (*Humulus lupulus L.*) kenevirgiller familyasından tırmanıcı gövdeli ve çok yıllık otsu bir bitkidir. Bitki bira, maya ve ekmek yapımında kullanılmakla beraber, genç sürgünleri de sebze olarak kullanılmaktadır [26]. Avrupa'da geniş bir üretim alanına sahip bitkinin tarımı ülkemizde sadece Bilecik ili, Pazaryeri ilçesinde yapılmaktadır (Şekil 1 ve 2). Gelişimi için ılıman bir iklim isteyen şerbetçi otu, 7.5 metreye kadar uzarken, sarılması için yüksek direk ve aralarına gerilmiş tellere ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 1. Şerbetçi otunun genel görünüşü [27]



Şekil 2. Şerbetçi otunun yetiştirildiği Bilecik ili [27]

Bira sanayinin vazgeçilmez bir ham maddesi olan şerbetçi otu, biraya acılık ve aroma kazandırmaktadır. Acılık ve aroma özelliklerini içermiş olduğu reçineler ile yağlar vermektedir. Reçineler içinde biracılık yönünden en değerli kimyasal maddeler ise alfa asitlerdir. Çok uzun yıllardır (16. yüzyıldan beri) Avrupa’da, şerbetçi otunun verdiği genç sürgünler sebze olarak kullanılmakta olup, Almanya, İsviçre ve Macaristan gibi ülkelerde maya ve ekmek içerisine de katılmaktadır.

Şerbetçi otu tarımı sadece Marmara, Ege, Karadeniz ve İç Anadolu Bölgesi’nin kesişme noktasında yer alan Bilecik ilinin küçük bir ilçesi olan Pazaryeri’nde yapılmaktadır. Son verilere (2021) göre 320 ha alandan 1860 ton şerbetçi otu kozası elde edilmiştir [28]. Dünyada toplam şerbetçiotu dikim alanı toplam 91.881 ha’dır. En fazla dikim alanına sahip ülkeler ise sırasıyla Etiyopya (30.646 ha), ABD (21.562 ha), Almanya (17.077 ha) Çek Cumhuriyeti (4.945 ha) ve Çin Halk Cumhuriyeti’dir (4.945 ha). Dünyada 2017 yılında toplam şerbetçiotu üretim miktarı 148.603 ton olarak gerçekleşmiştir. Bu üretimin yaklaşık %33’ünü ABD (47.340 ton), %27’sini Etiyopya (38.418 ton), %23’ünü Almanya (32.582 ton) %5’ini de Çek Cumhuriyeti (6.797 ton) gerçekleştirmiştir [27].

VI. ŞERBETÇİ OTUNUN FİTOTERAPİ ÖZELLİĞİ

Şerbetçiotu Avrupa’da ilk olarak antimikrobiyal özellikleri nedeniyle kullanılmaya başlanmıştır. Bu kullanımda yaralanan hayvanların yaralarını şerbetçi otuna sürmesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca

doğumu yaklaşan hayvanların bitkiyi yedikten sonra daha sakin oldukları ve doğumlarının kolaylaştığı, süt veriminin arttığı görülmüştür. Diğer taraftan şerbetçiotunun antikonvülsan ve hipnotik etkisi olduğu ve dolayısıyla da şerbetçiotu yiyen hayvanların diğer hayvanlara göre daha az huzursuz olduğu tespit edilmiştir. Bu durum bitkinin östrojenik ve sakinleştirici etkisi olduğu ortaya koymaktadır [29].

VII. ŞERBETÇİ OTUNUN KABA YEM OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Şerbetçi otunun kullanılmayan kısımları (sap, yapraklar ve kullanılmayan çiçeklerden oluşan) bira üretiminde kullanılan miktardan çok daha fazladır. Bitkinin kozaları toplam bitkisel aksamının yaklaşık olarak %20'sine tekabül etmektedir. Dolayısıyla bitkisel aksamın 4/5'i atılmaktadır. 2021 yılı verilerine göre Bilecik ili Pazaryeri ilçesinde 3200 da alandan 1860 ton şerbetçi otu kozası elde edilmiştir [27]. Toplam atılan ot miktarı ise 7440 ton civarındadır. Yapmış olduğumuz analizler neticesinde şerbetçi otunun o dönemdeki kuru madde oranı %35 olarak belirlenirken, elde edilen toplam kuru ot verimi ise 2604 tondur. Diğer taraftan ilçede 5.271 adet BBHB bulunmaktadır. Mevcut hayvan varlığının ihtiyaç duyduğu kaba yem miktarı ise yıllık 24 bin ton (5.271 x 12.5 x 365) civarındadır. Bu açıklamalara göre, bitkiden elde edilen kuru ot miktarı, toplam hayvan varlığının %10'luk kaba yem ihtiyacına denk gelmektedir.

Bölgeden alınan şerbetçi otu kuru ot örneklerinde yapılan analizlerde; ham protein, asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF), nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF), potasyum (K), fosfor (P), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) oranları sırasıyla; %15.76-20.8, %35.76-44.09, %48.63-59.80, %2.12-2.20, %0.30-0.37, %0.87-1.16 ve %0.46-0.54 arasında değişmiştir. Görüldüğü üzere şerbetçi otu hem karbonhidrat hem de protein bakımından zengindir. Bitki sahip olduğu bu içerikler ile baklagillere karbonhidrat, buğdaygillere ise protein takviyesi yapmış olacaktır. Buna göre bitkinin silaj olarak değerlendirilmesi de mümkün gözükmektedir. Bilecik ekolojik koşullarında yetiştirilen şerbetçi otunun mısır ve yemlik soya ile farklı karışımlarının (%100+0, 75+25, 50+50 ve 25+75) silaj kalitesinin belirlenmesi amacıyla yürütülen çalışmada; şerbetçiotunun her iki bitkinin de silaj performansını iyileştirdiği belirlenmiştir [30].

VIII. SONUÇ

Hayvansal üretim için kaliteli kaba yemler çok önemlidir. Yem giderleri hayvancılık işletmelerinin toplam maliyetinin % 70'ini, kaba yemler ise bu yem masraflarının % 80'ini oluşturmaktadır. Bu durumun önüne geçebilmek için yem bitkileri üretiminin artırılması yadsınamaz bir gerçektir. Diğer taraftan, kaba yemler selülozca zengin olup, az kullanılmaları durumunda rumende bulunan selülozu parçalayan mikroorganizmaların azalmasına neden olur. Bu da asetik asit üretiminin ve sütte yağ oranının düşmesi anlamına gelir. Bu nedenle kaba yemlerin rasyonda önemli bir yeri vardır.

Türkiye'de kaliteli kaba yem açığı bulunmakta olup, bu açığın mevcut çayır-mera alanları ve tarla tarımından elde edilen yem bitkileri üretimi ile kapatılmasının mümkün olmadığı bir gerçektir. Dolayısıyla hayvancılığın gelişmesi ve üretim maliyetlerinin düşmesinde alternatif yem kaynakları önemli rol üstlenmektedir.

Şerbetçi otunun kozası alındıktan sonra geriye kalan sap ve yapraklarının hayvan yemi olarak değerlendirilebilmesi mümkün gözükmektedir. Bitki önemli miktarda ham protein oranı, besin maddesi ve sekonder metabolitlere sahiptir. Bu da hayvan verimi ve sağlığı açısından son derece önemlidir.

Sonuç olarak; ülkemizde şerbetçi otunun yem kalitesi ile yapılmış çalışmalar bulunmamakla beraber, ana hedefi koza üretimi olan bitkinin artıklarının kaba yem olarak değerlendirilmesi mümkündür. Bu bağlamda, şerbetçi otunun gerek bölgemizde gerekse ülkemizde mevcut kaba yem açığının kapatılmasına ve hayvan sağlığına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Gündüz, T. E. (2010). *Diyarbakır Koşullarında Karışım Oranının Macar Fiği (Vicia pannonica Crantz) + Buğday (Triticum aestivum var. aestivum L.) Karışımında Ot Verimi ve Kalitesine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [2] Gürer, B. (2010). *Türkiye'de Hayvansal Ürünlerde Gıda Güvencesinin Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [3] Acar, Z., Tan, M., Ayan, İ., Önal Aşçı, Ö., Mut, H., Başaran, U., Gülümser, E., Can, M., & Kaymak, G. (2020). Türkiye'de Yem Bitkileri Tarımının Durumu ve Geliştirme Olanakları. *Türkiye Ziraat Mühendisleri IX. Teknik Kongresi*. 13-17 Ocak Ankara, 529-553.

- [4] Kale, M. C. (2008). Et ve Balık Ürünleri Anonim Şirketi Kombinalarında Sığır Etinin, Karkas veya Parçalanmış Et Olarak Sürümünün İşletme Gelirine Etkisi. Yayınlanmış Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [5] Mayer, M., Vogl, C.V., Amorena, M., Hamburger, M., & Walkenhorst M. (2014). Treatment of Organic Livestock with Medicinal Plants:A Systematic Review of European Ethnoveterinary Research. *Forsch Komplementmed*, 21, 375–386.
- [6] Sipponen, A., Kuokkanen, O., Tiihonen, R., Kauppinen, H., & Jokinen, J.J. (2012). Natural Coniferous Resin Salve Used to Treat Complicated Surgical Wounds: Pilot Clinical Trial on Healing and Costs. *International Journal of Dermatology*, 51, 726–732.
- [7] Kowalczyk, E., Patyra, E., & Kwiatek, K. (2013). Organic Acids and Their Importance in Animal Husbandry. *Medycyna Weterynaryjna*, 69(5): 269-273.
- [8] Rochfort, S., Parker, A.J., & Dunshea, F.R. (2008). Plant Bioactives for Ruminant Health and Productivity. *Phytochemistry*, 69(2), 299–322.
- [9] Patra, A.K., Kamra, D.N., & Agarwal, N. (2006). Effect of Plant Extracts on In Vitro Methanogenesis, Enzyme Activities and Fermentation of Feed in Rumen Liquor of Buffalo. *Animal Feed Science and Technology*, 128 (3-4), 276–291.
- [10] Lee, S.H.Y., Humphries, D.J., Cockman, D.A., Givens, D.I., & Spencer, J.P.E. (2017). Accumulation of Citrus Flavanones in Bovine Milk Following Citrus Pulp Incorporation into the Diet of Dairy Cows. *EC Nutrition*, 7(4), 143-154.
- [11] Dohi, H., Yamada, A., & Fukukawa, T. (1997). Intake Stimulants in Perennial Ryegrass (*Lolium perenne* L.) Fed to Sheep. *Journal of Dairy Science*, 80, 2083–2086.
- [12] Santos Neto, T. M., Mota, R. A., Silva, L. B. G., Viana, D. A., Lima-Filho, J. L., Sarubbo, L. A., Converti, A., & Porto, A. L. F. (2009). Susceptibility of *Staphylococcus* spp. Isolated from Milk of Goats with Mastitis to Antibiotics and Green Propolis Extracts. *Letters in Drug Design & Discovery*, 6, 63-68.
- [13] Frozza, C. O. S., Garcia, C. S. C., Gambato, G., de Souza M. D., Salvador, M., Moura, S., Padilha, F. F., Seixas, F. K., Collares, T., Borsuk, S., Dellagostin, O. A., Henriques, J. A., & Roesch-Ely, M. (2013). Chemical Characterization, Antioxidant and Cytotoxic Activities of Brazilian Red Propolis. *Food and Chemical Toxicology*, 52, 137-142.
- [14] Seradj, A.R., Abecia, L., Crespo, J., Villalba, D., Fondevila, M., & Balcells, J. (2014). The effect of Bioflavex® and Its Pure Flavonoid Components on In Vitro Fermentation Parameters and Methane Production in Rumen Fluid from Steers Given High Concentrate Diets. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 85-91.
- [15] Paula, E.M., Samensari, R.B., Machado, E., Pereira, L.M., & Maia, F.J. (2016). Effects of Phenolic Compounds on Ruminant Protozoa Population, Ruminant Fermentation, and Digestion in Water Buffaloes. *Livestock Science*, 185, 136-41.
- [16] Anonim. (2014). The Fifth Assessment Report (AR5). The Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland. http://www.ipcc.ch_31.04.2017.
- [17] Anonim. (2021a). Sera Gazı Emisyon İstatistikler. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Greenhouse-Gas-Emissions-Statistics-1990-2019-37196>.
- [18] Anonim. (2015). http://www.tuik.gov.tr/Seragazi_Emisyon_Istatistikler_17.04.2017.
- [19] Lascano, C.E., & Cárdenas, E. (2010). Alternatives for Methane Emission Mitigation in Livestock Systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 175-182.
- [20] Lesschen, J.P., Van den Berg, M., Westhoek, H.J., Witzke, H.P., & Oenema, O. (2011). Greenhouse Gas Emission Profiles of European Livestock Sectors. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, 16-28.
- [21] Beauchemin, K.A., Janzen, H.H., Little, S.M., McAllister, T.A., & McGinn, S.M. (2010). Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Beef Production in Western Canada: A Case Study. *Agricultural Systems*, 103, 371-379.
- [22] Gür, G., & Öztürk, H. (2021). Ruminantlarda Metan Salımını Azaltma Stratejileri. *Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni*, 12(1), 43-54.
- [23] Haque, N., Saraswat, M.L., & Sahoo, A. (2001). Methane Production and Energy Balance in Crossbred Male Calves Fed on Rations Containing Different Ratios of Green Sorghum and Wheat Straw. *Indian Journal of Animal Sciences*, 71, 797–799.
- [24] Beauchemin, K.A., Kreuzer, M., O'mara, F., & Mcallister, T.A. (2008). Nutritional Management for Enteric Methane Abatement: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48, 21–27.
- [25] Önal Aşçı, Ö., & Acar, Z. (2018). *Kaba Yemlerde Kalite*. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, Türkiye.

- [26] İncekara, F. (1964). Endüstri Bitkileri ve Islah Kitabı. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4(84), 180.
- [27] İbrık, C. (2020). *Bilecik ili Pazaryeri İlçesinde Şerbetçiotu Yetiştiriciliğinin İlçe Ekonomisine ve Gelişimine Katkısı*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [28] Anonim. (2021b). Türkiye İstatistik Kurumu. <https://www.tuik.gov.tr/>.
- [29] Flythe, M.D. (2009). The Antimicrobial Effects of Hops (*Humulus Lupulus L.*) on Ruminal Hyper Ammonia- Producing Bacteria. *Letters in Applied Microbiology*, 118, 242-248.
- [30] Öztürk, Y.E., Gülümser, E., Mut, H., Başaran, U., & Çopur Doğrusöz, M. (2020). Şerbetçi Otunun Mısır ve Yemlik Soya ile Karışımlarının Silaj Kalitesinin Belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(4), 440-446.

Derleme Makalesi -Review Article

Bilecik İlinin Meyvecilik Potansiyeli Fruit Growing Potential of Bilecik Province

Sinem Öztürk Erdem^{1*}, Nuray Koş²

Geliş / Received: 25/11/2021

Revize / Revised: 12/01/2022

Kabul / Accepted: 21/01/2022

ÖZ

Marmara bölgesi ekolojik özellikleri ile birçok meyve türünün yetiştiriciliğinin yapılabildiği bir bölge olup, doğusunda Bilecik ili yer almaktadır. Bilecik ili sahip olduğu yükselti farklılıklarının ortaya çıkardığı ekosistemler sayesinde meyve ve sebze yetiştiriciliğinde elverişli bir yapıya sahip olması ile ön plandadır. Bilecik ilinin toprak varlığının %29'unu tarım alanı, tarım alanının %11'lik kısmını ise meyve alanı oluşturmaktadır. Yetiştiriciliği yapılan türler incelendiğinde ceviz, fındık, şeftali, zeytin, nar, üzüm, incir, ayva ve daha birçok tür ekolojik şartların uygunluğundan dolayı yetiştiriciliği yapılabilmektedir. 2020 yılı verilerine göre yaklaşık 141 bin dekar alanda 71.034 ton meyve üretimi gerçekleştirilmiştir. Aynı yıl üretim miktarı verileri incelendiğinde ilk sırada yer alan şeftaliyi kiraz, ayva, üzüm takip etmektedir. Osmaneli ilçesinde Bilecik ilinin meyve üretiminin yaklaşık %74'ü gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada Bilecik ilinin meyvecilik potansiyelinin mevcut durumunun incelenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler-Çözüm Önerisi, Meyve Yetiştiriciliği, Problem, Üretim

ABSTRACT

The Marmara region is a region where many fruit species can be grown with its ecological characteristics, and Bilecik province is located in the east. Bilecik province is at the forefront with its favourable structure in fruit and vegetable cultivation, thanks to the ecosystems created by the altitude differences. 29% of the land area of Bilecik is agricultural land, and 11% of the agricultural area is fruit area. When the cultivated species are examined, walnut, hazelnut, peach, olive, pomegranate, grape, fig, quince, and many other species can be grown due to the suitability of ecological conditions. According to the data of 2020, 71.034 tons of fruit are produced in an area of approximately 141 thousand decars. When the production amount data is examined in the same year, the ranking continues in the form of peach, cherry, quince, and grape. Approximately 63% of the fruit production of Bilecik province is realized in Osmaneli district. In this study, it is aimed to examine the current situation of the fruit growing potential of Bilecik province.

Keywords- Fruit Growing, Problem, Production, Solution Suggestion

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: sinem.erdem@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-8978-0837>)

Bahçe Bitkileri Bölümü, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

²İletişim: nuraykos20@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-8093-8602>)

Biyoteknoloji ABD, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

I. GİRİŞ

Türkiye, konumu ve ekolojik özellikleri sayesinde meyve yetiştiriciliğinde avantajlı bir konumdadır. Dünya üzerinde mevcut olan gen merkezleri arasında Yakın Doğu ve Akdeniz Gen Merkezleri içinde yer alması aynı zamanda beşmikro-gen merkezi bulunmasından dolayı ülkemizde birçok tür ve çeşit zenginliğinin olduğu bilinmektedir. Meyvecilik kültüründe önemli bir yere sahip olan elma, Armut, Ayva, Fındık, Antepfıstığı, Vişne, Kiraz, Erik, Ceviz, Badem, Kestane, İncir, Üzüm ve Nar gibi birçok meyve türünün anavatanı ülkemizdir [1-3].

Türkiye’de 2020 yılı meyve üretim miktarları incelendiğinde 2019 yılı verilerine göre yaklaşık % 6’lık bir artış ile toplam 21.853,084 ton üretim gerçekleştirilmiştir. Özellikle Elma (%18.8), Mandalina (%13.3), Çilek (%12.3), Şeftali (%7.4), Nar (%7.3) ve İncir (%3.2) türlerinde büyük bir artış gözlemlenmektedir. 2020 yılında Akdeniz bölgesinde toplam meyve üretiminin % 41’i, Ege bölgesinde %22’si, Marmara bölgesinde ise yaklaşık %11’i gerçekleşmiştir [4].

Bilecik İli, Marmara, Ege, İç Anadolu ve Karadeniz bölgelerinin kesişim noktaları arasında Marmara Bölgesi’nin güneydoğusunda bulunmaktadır. Bilecik İli coğrafyasında değişen yükselti farklılıkları ve bunların meydana getirdiği ekosistemler sayesinde meyve ve sebze yetiştiriciliğinde elverişli bir yapıya sahip olmasıyla ön plandadır. Toprak yapısı ile iklimin yöresel farklılıkları olmasıyla üretimde çok fazla çeşitlilik görülmektedir. Bu çeşitlilik Domatesten Fasulyeye, Karpuzdan Nara, Zeytinden Ayvaya, Biberden Soğana, Üzümden Şeftaliye kadar birçok meyve ve sebze türlerinin yetişmesiyle il genelinde ürün yelpazesinin zengin bir potansiyele sahip olmasını sağlamaktadır [5]. Yöresel olarak bakıldığında ise; Osmaneli ilçesinde başta şeftali olmak üzere birçok meyve yetiştiriciliği, İnhisar ilçesinde Nar yetiştiriciliği, Gölpazarı ilçesinde Ceviz ve Kiraz yetiştiriciliği ön plandadır. Bu çalışmada TÜİK tarafından 2020 yılında Bilecik İl ve ilçelerinde istatistiksel verileri yayınlanmış meyve türlerinin mevcut durumları ve gelecekteki potansiyel durumları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

II. BİLECİK İLİ MEYVECİLİĞİ

Marmara bölgesinin güneydoğusunda yer alan Bilecik İli; kuzey bölgesinde Sakarya, güney bölgesinde Kütahya, batısında Bursa, doğusunda Bolu ve Eskişehir illeri arasında bir konumdadır. Bilecik ilinin merkez ilçe ile 8 tane ilçesi vardır. Bunlar; Osmaneli, Gölpazarı, İnhisar, Söğüt, Merkez, Pazaryeri, Yenipazar, Bozüyük’tür. Bilecik İl’inin yüz ölçümü 4.307 km² olup [5], merkezin denize olan yüksekliği 500 m’dir [6]. Geçit bölgesi olan bir il olması, farklılık gösteren topografyası ve su kaynakları ile Bilecik’te üç farklı iklim tipi görülmektedir. Merkez, Osmaneli, Gölpazarı ve Söğüt ilçeleri Marmara Bölgesi İklimi, Pazaryeri, Bozüyük ve Yenipazar ilçeleri ise İç Anadolu Bölgesi iklim özelliklerini göstermektedir. Ayrıca Gölpazarı, Osmaneli ve Söğüt ilçelerinin Sakarya Irmağı kıyı şeridinde mikro-klima iklim bölgeleri görülmektedir [6].

Yıllık yağış ortalaması 450 kg/m² olup, en çok yağış düşen aylar ise Ocak ve Mayıs aylarıdır. Bilecik ili toplam arazilerinin %52’si sulanan, %48’i ise sulanmayan arazilerden oluşmaktadır [5,6].

Bilecik ilinin mevcut toprak varlığının dağılımı incelendiğinde %1.44’ü çayır-mera alanı, %53.09 orman alanı, %16.43’ünü yerleşim ve tarıma elverişsiz alanlar, %29.4’ü ise 1.250,807 dekar ile tarım alanı oluşturmaktadır [5]. Bu alanın %40.37’si tarla bitkileri, %11.15’i meyve alanı, %9.32’si sebze alanı olup %32.73’lük kısmı keleme alan, %1.33’nün kavaklık alan olmasının yanı sıra %0.29 gibi küçük bir alanında örtü altı sebze yetiştiriciliği yapılmaktadır (Tablo 1). İlin bitkisel üretim değerlerine bakıldığında sebze (257.630ton), tarla bitkileri yetiştiriciliği (228.727 ton), meyve (71.024 ton) ve örtü altı sebze yetiştiriciliği (52.694 ton) şeklinde sıralanmaktadır [4].

Tablo 1. Bilecik İli Tarım Alanlarının Dağılımı

Bitkisel Üretim Şekli	Alan (Dekar)	Alan İçindeki Payı (%)
Tarla Bitkileri	504.933	40.37
Sebze	60.189	4.81
Örtü Altı Sebze	3.692	0.29
Meyve	139.568	11.15
Nadas	116.644	9.32
Kavaklık	16.584	1.33
Keleme	409.197	32.73
TOPLAM	1.250.807	100

Ülkemiz meyveciliğinde önemli yeri olan Elma, Üzüm, Zeytin, Şeftali, Kiraz ve Ayva gibi türler Bilecik ekonomisine de katkı sağlamaktadır. Bilecik ilinde 2004 yılından 2020 yılına kadar toplu meyveliklerin alanı %15 artmıştır. Tablo 2.'de bulunan TÜİK 2020 yılı verileri incelendiğinde Bilecik ilinde 138.383 da toplu meyvelik alanında 71.024 ton meyve üretimi gerçekleştirilmiştir. Şeftali 35.948 ton üretim ile ilk sırada yer almaktadır. Türkiye'de ki şeftali üretiminin %5'i Bilecik ilinden karşılanmaktadır. 8.209 ton üretim ile Kiraz ikinci sırada, 6.671 ton üretim ile Ayva üçüncü sırada yer almaktadır. Türkiye'de ki Ayva üretiminin %4'ü yine buradan karşılanmaktadır. TR41 bölgesi kapsamında ise, Şeftalinin %25'i, Ayvanın ise %20'si Bilecik ilinden karşılanmaktadır [4].

Meyve veren yaşta ağaç sayısı 2.154,944 adet, meyve vermeyen yaşta ağaç sayısı ise 450.346 adettir. 2019 yılında Bilecik İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nün başlatmış olduğu Ceviz fidan dağıtım projesi ile cevizde meyve vermeyen yaşta ağaç sayısı 130.918 adete ulaşmıştır [4]. Önümüzdeki yıllarda ceviz yetiştiriciliği için uygun ekolojik şartlara sahip Bilecik ilinde ceviz üretim miktarında önemli bir artışla birlikte ceviz üretiminde söz sahibi olacağı düşünülmektedir. İl genelinde Ahududu, Böğürtlen, Kuşburnu, Yaban mersini, Mavi yemiş yetiştiriciliği de başlamıştır.

Tablo 2. Bilecik İli Meyve Üretim Alanı ve Üretim Miktarı ile Türkiye'deki Yeri*

Ürün Adı	Üretim (Ton)	Toplu Meyve Üretim Alanı (Da)	Ağaç Başına Ortalama Verim (Kg)	Meyve Veren Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Meyve Vermeyen Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)
Şeftali	35.948	20.391	39	911.994	24.380
Kiraz	8.209	20.900	28	293.224	124.423
Ayva	6.671	4.825	36	187.500	8.200
Üzüm	6.005	10.101	1.114	-	-
Sofralık Zeytin	2.996	16.768	11	269.891	51.830
Elma	2.966	4.256	157	109.109	30.177
Ceviz	2.157	41.935	18	117.255	130.918
Erik	1.647	3.661	20	81.593	10.521
Vişne	1.513	7.454	24	63.481	46.652
Nektarin	1.000	1.700	20	40.010	210
Armut	712	1.012	28	25.254	5.486
Badem	276	588	32	8.631	2.516
Trabzon Hur.	178	469	33	5.466	2.870
Çilek	171	266	643	-	-
Dut	155	816	12	13.361	1.421
Kayısı	154	130	13	12.155	1.909
Nar	109	2.847	17	6.434	7.685
Muşmula	74	65	50	1.480	210
İncir(Yaş)	60	106	21	2.803	160
Fındık	23	93	4	5.303	778
TOPLAM	71.024	138.383	2.320	2.154.944	450.346

*Sıralama, ürünlerin üretim miktarlarına göre gerçekleştirilmiştir.

Bilecik ili İstanbul, Bursa, İzmit ve Eskişehir gibi illerin orta noktasında olması aynı zamanda kara ve demir yollarıyla da Marmara, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgelerine de ulaşımın sağlanmasıyla havaalanlarına ve limanlara dolayısıyla pazara kolaylıkla erişim sağlanmaktadır.

A. Osmaneli İlçe Meyveciliği

Bilecik İl'inin Sakarya, Göksu, Göynük vadilerinin genişlediği alanlarda yer alan Osmaneli ilçesi, Bursa'nın İznik, Yenişehir ve Sakarya'nın Pamukova ilçelerine komşudur. İklim olarak Akdeniz ve Kara iklimi arasında bir geçit iklimine sahiptir. Bilecik ilinin meyve üretiminin % 74'ü Osmaneli ilçesinden karşılanmaktadır [4]. Bunun sebebi hem Sakarya Nehri'nin Aktaş mevkiinde ilçeye girmesi hem de mikro klima özelliği taşıması ile çevre il ve ilçelerine göre ürün çeşitliliği ve üretim sezonunun geniş olmasıdır. İlçede toplam 124.728 dekar alandan 46.230 dekarı toplam meyvelik alanı olarak kullanılmaktadır. Tablo 3'te görüldüğü gibi toplam meyve üretim miktarı 52.218 ton, meyve veren yaşta ağaç sayısı 1.398,365 adet, meyve vermeyen yaşta ağaç sayısı ise 60.238 adettir. İlçenin meyve üretim miktarları incelendiğinde şeftali-nektarin yetiştiriciliği 36.044 ton ile %69'luk bir üretim payına sahiptir [4]. Bölgenin üretimde diğer söz sahibi olduğu türler ise Ayva, Üzüm, Zeytin, Kiraz ve Elmadır. Bilecik Tarım İl Müdürlüğü'nün 2018 yılından itibaren her yıl yapmış olduğu Ceviz fidanı dağıtım projesi ile meyve vermeyen yaşta ağaç sayısı 2020 yılı verilerine göre 27.195 adettir. Önümüzdeki yıllarda Osmaneli ilçesinin ceviz yetiştiriciliğinde de söz sahibi olacağı düşünülmektedir.

Tablo 3. Bilecik ili Osmaneli ilçesinde bulunan meyve ağaç sayıları ve meyve üretim miktarları

Ürün Adı	Üretim Miktarı (Ton)	Meyve Veren Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Meyve Vermeyen Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Toplu Meyveliklerin Alanı (Da)
Şeftali	35.044	876.200	5.500	20.000
Ayva	5.788	144.700	4.750	4.300
Sofralık Üzüm	3.750	-	-	2.500
Zeytin	2.088	208.800	3.150	11.500
Kiraz	2.056	51.400	2.940	800
TOPLAM	52.218	1.398,365	60.238	46.230

B. Bilecik Merkez İlçe Meyveciliği

Bilecik Merkez ilçesinde toplam 46 köy bulunmaktadır [7]. İlçeler arasında Merkez ilçe meyve yetiştiriciliğinde ikinci, sebze yetiştiriciliğinde ise üçüncü sırada (24.445 ton) yer almaktadır [4]. Çukurören köyünde yetiştirilmekte olan Çukurören biberi coğrafi işaretli ürün olarak tescillendirilmiştir. Osmaneli ilçesinden sonra meyve yetiştiriciliğinin en fazla yapıldığı ilçe konumundadır. Tablo 4'te görüldüğü üzere 4.151 ton meyve üretimi gerçekleştirilmiş ve ilk sırayı Kiraz (1.072 ton) üretimi almıştır [4]. Meyve vermeyen yaşta ağaç sayısı incelendiğinde kiraz ve ceviz ağaçların sayısının fazla olduğu ileri ki yıllarda bu ürünlerin üretim miktarlarında önemli artışların olacağı beklenmektedir. Tablo 4'te üretimi en fazla yapılan 5 ürün verilmiştir. Ancak Merkez ilçe için önemli olan bir diğer meyve Trabzon hurmasıdır. Bilecik ilin Trabzon hurması üretiminin % 95'i Merkez ilçede gerçekleştirilmektedir [4]. Bilecik ilindeki ürün yelpazesini genişletmek aynı zamanda üretilen ürünlerin doğru çeşitlerle yapılabilmesi adına Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi öğretim üyeleri tarafından Hünnap, Çilek, Böğürtlen, Ahududu, Frenk Üzümü, Gojiberry, Dut, Üzüm türleri ile adaptasyon çalışmaları Merkez ilçeye bağlı bulunan Aşağıköy köyünde bulunan Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezinde başlatılmıştır.

Tablo 4. Bilecik ili Merkez ilçesinde bulunan meyve ağaç sayıları ve meyve üretim miktarları

Ürün Adı	Üretim Miktarı (Ton)	Meyve Veren Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Meyve Vermeyen Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Toplu Meyveliklerin Alanı (Da)
Kiraz	1.072	42.870	25.900	3.900
Erik	674	33.710	1.790	300
Ayva	636	31.790	1.850	150
Şeftali	416	16.650	5.200	100
Ceviz	392	21.780	18.880	9.850
TOPLAM	4.151	195.685	93.745	18.168

C. İnhisar İlçe Meyveciliği

Bilecik ili inhisar ilçesi; ilin güneydoğusunda yer almakta ve yüz ölçümü 341 km²'dir. İnhisar, Batı Karadeniz, İç Anadolu ve Marmara bölgelerinin kesiştiği noktada yer almaktadır. Bu nedenle hem mikro klima özelliği gösteren bir bölgede olması hem de su kaynakları ve farklılık gösteren topografyası ile üç farklı iklim tipi görülmektedir [8]. İlçede toplam 19.106 dekar alandan 7.425 dekar alanı meyve, içecek ve baharat alanı olarak kullanılmaktadır. İlçe halkının geçim kaynağı hayvancılık ve tarımdır. İlçede birçok meyve çeşidi yetiştirilmesine rağmen en iyi verim elde edilen ve yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan meyveler Kiraz, Üzüm, Zeytin, Ceviz, Dut, Ayva ve Nar'dır. İnhisar ilçesinde nar ekşi ve tatlı olarak iki çeşitte bulunur. İnce kabuklu tatlı narlar "Deve Dişi" narı olarak bilinir. İlçede iki bin dekardan fazla alanda organik nar yetiştiriciliği yapılmaktadır ve Tablo5'te de görüldüğü gibi meyve vermeyen ağaç sayısı 7.625'tir [4]. İlerleyen zamanlarda İnhisar ilçesi için önemli ürün olan nar üretiminin ilk sıralarda yer alacağı düşünülmektedir.

Tablo 5. Bilecik ili İnhisar ilçesinde bulunan meyve ağaç sayıları ve meyve üretim miktarları

Ürün Adı	Üretim Miktarı (Ton)	Meyve Veren Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Meyve Vermeyen Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Toplu Meyveliklerin Alanı (Da)
Kiraz	1.131	37.685	545	1.620
Üzüm	430	-	-	2.455
Zeytin	326	16.700	5.850	725
Ceviz	324	21.625	2.792	1.180
Nar	21	519	7.625	2.682
TOPLAM	2.702	103.165	18.194	7.425

D. Söğüt İlçe Meyveciliği

Bilecik İlinin Marmara bölgesinin doğusunda bulunan ilçesidir. İlçenin Eskişehir illerine yakınlığı pazara ulaşım için büyük bir avantajdır [9]. Aynı zamanda Sakarya Vadisine yakınlığı ile de seracılığa daha uygundur. Söğüt ilçesi sınırlarında bulunan Sakarya Vadisi'nde mikro klima özelliği görüldüğünden dolayı üretim çeşitliliği çok fazladır. İlçede toplam 83.348 dekar alan olup bunun 10.433 dekar alanı meyve, içecek ve baharatların alanı olarak kullanılmaktadır. Meyve üretimi olarak Kiraz, Ayva, Elma, Erik, Ceviz gibi birçok meyvenin yetiştiriciliğinin yaygın yapılmasıyla birlikte en fazla üretimi yapılan meyve Kiraz olup arkasından Üzüm gelmektedir [4]. Ayrıca dut meyvesi yetiştiriciliği ve ipekböcekçiliğini yeniden canlandırma çalışması kapsamında dut ağacı dikimleri yapılması planlanmaktadır. İlçede üretilen ürünler hem iç pazara hem de ihracata gönderilmektedir.

Tablo 6. Bilecik ili İnhisar ilçesinde bulunan meyve ağaç sayıları ve meyve üretim miktarları

Ürün Adı	Üretim Miktarı (Ton)	Meyve Veren Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Meyve Vermeyen Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Toplu Meyveliklerin Alanı (Da)
Kiraz	1.683	67.300	2.725	3.450
Üzüm	1.382	-	-	3.070
Ceviz	361	24.070	26.654	2.634
Zeytin	267	22.241	5.190	786
Nar	80	5.300	-	160
TOPLAM	4.080	133.971	35.199	10.433

E. Gölpazarı İlçe Meyveciliği

İlçenin kuzey sınırını Sakarya'nın Taraklı ve Geyve ilçeleri, Batısını Bilecik Vezirhan beldesi ve Osmaneli İlçesi, Güneyini Söğüt ve İnhisar İlçeleri, Doğusunu da Bolu'nun Göynük ve Bilecik'in Yenipazar İlçeleri sınırlandırır. Gölpazarı ilçesi güneyde İç Anadolu Havzası ile kuzeyde Marmara ve Karadeniz iklim tipleri arasında geçiş sahasında yer almaktadır. Bu iklim tipleri arasından Marmara bölgesinin yarı nemli iklim özelliği Gölpazarı ilçesinin bulunduğu sahada etkili olmaktadır [10]. İlçenin sulaması Sakarya Nehri tarafından karşılanmakta olup bu sayede ilçede sebze, meyve, tahıl üretimleri yapılmaktadır. İlçede toplam 101.543 dekar alanın 32.810 dekar alanı meyve, içecek ve baharat alanı olarak kullanılmaktadır. İlçede 2020 yılı verilerine göre en fazla kiraz üretimi (1.260 ton) yapılmıştır. Kiraz'ı vişne, elma, şeftali ve ceviz yetiştiriciliği izlemiştir. Yetiştiriciliği yapılan üzüm ve kiraz iç pazar ve ihracatta, Vişne ise sanayi (reçel ve meyve suyu vs. yapımı) de kullanılmaktadır. Tablo 7'de de görüldüğü gibi meyve vermeyen yaşta ağaç sayısı toplam 132.756 adet ve en fazla ceviz ağacı yer almaktadır. Gölpazarı'nın özellikle kiraz, vişne ve ceviz yetiştiriciliğine uygun bir iklimi olduğundan buradaki meyvelik alanların yaklaşık %85'ini bu üç ürün oluşturmaktadır [4].

Tablo 7. Bilecik ili Gölpazarı ilçesinde bulunan meyve ağaç sayıları ve meyve üretim miktarları

Ürün Adı	Üretim Miktarı (Ton)	Meyve Veren Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Meyve Vermeyen Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Toplu Meyveliklerin Alanı (Da)
Kiraz	1.260	63.000	36.000	7.236
Vişne	559	28.500	32.025	3.500
Elma	428	23.353	4.716	957
Şeftali	416	16.000	13.050	218
Ceviz	273	13.650	37.500	17.100
TOPLAM	3.569	166.303	132.756	32.810

F. Pazaryeri İlçe Meyveciliği

Bilecik ilinin Marmara Bölgesinin doğusunda yer alan eski adı Pazarcık olan Pazaryeri ilçesi Bilecik ilinin küçük ve şirin bir ilçesidir. Doğusunda Söğüt, batısında Bursa'nın İnegöl ilçesi, kuzeyinde Bilecik merkez ilçe, güneyinde Bozüyük ilçesi bulunmaktadır. Yüzölçümü 399 kilometrekaredir. Marmara Bölgesinde yer almasına rağmen iklimi sert ve karasaldır. Ege, Batı Karadeniz ve İç Anadolu Bölgesi iklimlerinin zaman zaman etkilerini gösterdiği geçit bölgesini oluşturur. İlçede bulunan tarım arazilerinin sulanması Küçük-Büyük Elmalı, Sarnıç, Sorgun, Esere ve Kamçı gibi göletler tarafından gerçekleştirilmektedir [11]. İlçe toplam 92.526 dekar alana sahip olup bunun 2.689 dekar alanı meyve, içecek ve baharat alanı olarak kullanılmaktadır. İlçede yetiştirilen Vişne, Elma, Kiraz, Ceviz, Armut gibi meyvelerin yetiştiriciliği yaygın olarak yapılmaktadır. Meyve üretiminde ise Vişne ve Elma ön planda olmakla birlikte ilçede yetiştirilen Çilek meyvesi tat ve aroma yönünden tercih edilen bir üründür. Pazaryeri ilçesi geçmiş yıllarda dağ çileği ile meşhur bir ilçe iken daha sonraları çilek üretimi ticari çeşitlerle devam etmiştir [12]. 2014 yılında 21 dekar çilek bahçeleri, 2020 yılında 186 dekara ulaşmıştır. Bilecik ilinin çilek üretiminin %76'sı Pazaryeri ilçesinden karşılanmaktadır [4]. Bölgede aynı zamanda 15 bin adet Mavi yemiş fidanı dikilmiştir [13].

Tablo 8. Bilecik ili Pazaryeri ilçesinde bulunan meyve ağaç sayıları ve meyve üretim miktarları

Ürün Adı	Üretim Miktarı (Ton)	Meyve Veren Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Meyve Vermeyen Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Toplu Meyveliklerin Alanı (Da)
Vişne	331	11.031	6.110	436
Elma	241	9.197	4.806	347
Ceviz	146	6.070	10.015	1.226
Çilek	130	-	-	186
Armut	112	3.102	1.140	62
TOPLAM	1.192	40.839	28.925	2.689

G. Bozüyük İlçe Meyveciliği

Bozüyük ilçesi, Kuzeybatısında Pazaryeri ilçesi, kuzeydoğuda Söğüt, doğusunda Eskişehir, güneyinde Kütahya, Batısında İnegöl ilçeleri ile çevrili olan Bilecik'in bir ilçesidir [14]. İlçede toplam 171.089 dekar alanın 3.724 dekar alanı meyve, içecek ve baharat alanı olarak kullanılmaktadır. Bozüyük ilçesinde Elma, Ceviz, Vişne, Kiraz ve Erik gibi meyvelerin yetiştiriciliği yaygın olarak yapılsa da üretimi ön planda olan Elmadır [4]. İlçenin yakın çevresindeki iller ile kara-demir yolları ile olan bağlantısı sayesinde üretilen meyvelerin pazara erişimini kolaylaşmaktadır.

Tablo 9. Bilecik ili Bozüyük ilçesinde bulunan meyve ağaç sayıları ve meyve üretim miktarları

Ürün Adı	Üretim Miktarı (Ton)	Meyve Veren Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Meyve Vermeyen Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Toplu Meyveliklerin Alanı (Da)
Elma	866	35.999	7.594	1.344
Ceviz	269	11.685	5.757	1.560
Vişne	168	8.400	2.712	300
Kiraz	149	5.967	2.140	250
Erik	84	4.201	888	125
TOPLAM	1.669	73.497	21.303	3.724

H. Yenipazar İlçe Meyveciliği

Bilecik'in kuzeybatısında yer almaktadır. İlçe, kuzeyde Göynük, doğuda Sarıcakaya, batıda Gölpazarı, kuzeybatıda Taraklı, güneyde İnhisar ve Mihalgazi ilçeleriyle çevrilidir. Bilecik, Marmara Bölgesinde olmasına rağmen, Yenipazar ilçesi Karadeniz bölgesine yakın olduğundan dolayı karasal iklim tipi görülmektedir. İlçede toplam 87.706 dekar alandan 14.467 dekar alanı meyve, içecek ve baharat alanı olarak kullanılmaktadır. 2020 yılında toplam 1.453 ton meyve üretimi gerçekleşmiş ve bu üretimin yaklaşık yarısını kiraz oluşturmuştur. Tablo 10'da görüldüğü gibi meyve vermeyen ağaç sayısı 60.037'dir [4]. Gelecek yıllarda Yenipazar ilçesinde de üretim miktarının artacağı öngörülmekle birlikte yeni ürünlerle adaptasyon çalışmaları yapılarak ürün yelpazesinin genişletilmesi gerekmektedir.

Tablo 10. Bilecik ili Pazaryeri ilçesinde bulunan meyve ağaç sayıları ve meyve üretim miktarları

Ürün Adı	Üretim Miktarı (Ton)	Meyve Veren Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Meyve Vermeyen Yaşta Ağaç Sayısı (Adet)	Toplu Meyveliklerin Alanı (Da)
Kiraz	753	21.520	50.100	3.400
Üzüm	144	-	-	677
Badem	130	2.650	1.130	410
Ceviz	102	6.775	2.125	5.850
Vişne	90	4.100	3.475	2.800
TOPLAM	1.453	43.634	60.037	14.467

III. SONUÇ

Bilecik ilinde meyve yetiştiriciliği konusunda en büyük problem, Bilecik ilinin toplam toprak varlığının % 53.09'unun orman alanı olup yetiştiricilik yapılamamasıdır. Toprak varlığının %29.04'ü ise tarım alanıdır ve bu alanın yaklaşık %11'i meyve yetiştirilen alandır. Dar bir alanda sebze, meyve yetiştiriciliği yapılmasına rağmen bitkisel ürün çeşitliliğinin fazla olmasının sebebi Bilecik ilinin farklı iklim ve toprak yapısına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda İstanbul, Sakarya, Bolu, Bursa ve Eskişehir gibi illere olan yakınlığı ile bu ürünlerin pazarlanması konusunda da önemli bir konuma sahiptir. Tüm bu avantajlardan dolayı bu ildeki meyvecilikten daha iyi sonuçlar almak için Bilecik ilinin bitkisel üretim deseninin iyi planlanması durumunda daha fazla çeşit ile daha fazla ürün elde edilebilir. Öncelikle yeni kurulacak bahçelerde üstün özelliklere sahip olmasının yanı sıra bölge iklimine uygun meyve tür ve çeşit seçilmelidir. Bir sonraki önemli aşamada fidan seçiminin başlangıçta doğru yapılması gerekmektedir, aksi takdirde telafi edilemeyecek sorunlar ortaya çıkabilir. Fidancılık konusu ülkesel çapta ele alınarak her meyve türü için kaliteli ve standart sertifikalı fidan üretimi ve kullanımı sağlanmalıdır. Eski meyve bahçeleri de verimli çeşitlerle değiştirilmelidir. Aynı zamanda birim maliyeti düşürecek ve birim alanda verimliliği arttırmaya yönelik tür ve çeşitlilik üzerinde durulmalıdır. Ürün çeşitlendirmede özellikle üretimi fazla olan Ceviz, Kiraz, Şeftali ve Ayva gibi meyvelerin yanı sıra ilçeye özgü olan İnhisar narı gibi meyvelerin yetiştiriciliğinin daha da ön planda tutulması gerekmektedir. Aynı zamanda bölgede yetiştiriciliği yapılan meyve türlerinde ıslah çalışmaları teşvik edilmelidir. Üniversitelerden araştırmacıların bölgede araştırma yapmaları mevcut sorunların çözümüne katkı sağlayacağı gibi, yeni tekniklerin uygulanmasını da teşvik edecektir. Bu araştırmalar aynı zamanda genetik kaynaklarımızın ortaya çıkarılması ve ileri ki çalışmalara da zemin oluşturması açısından önemlidir.

Sonuç olarak verimli toprakları, konumu ve doğal güzellikler ile çevrili olan Bilecik ilinde, ürün çeşidi, depolama alanları ve pazarlama imkânlarını iyi kullanarak tarımsal üretiminin artırılması gerekmektedir. Çünkü yetiştiricilikteki başarı pazarlamadaki başarıyla ölçülebilir, bu sebeplerde iç ve dış pazarlara ürün satabilmek için, çiftçi ve işletmeler ile birlikte hareket edilmelidir. Bu uygulamalar ile Bilecik ilinde tarımsal verimlilik ve üretim katkısı artırılarak sosyal-ekonomik yapının da korunması sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Gerçekçioğlu, R., Bilgener, Ş., & Soylu A. (2009). *Genel Meyvecilik*. Nobel yayın, Ankara, 480.
- [2] Özçağırın, R., Ünal, A., Özeker, E., & İsfendiyaroğlu, M. (2005). *Ilman İklim Meyve Türleri, Sert Çekirdekli Meyveler*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, İzmir, 229.
- [3] Özçağırın, R., Ünal, A., Özeker, E., & İsfendiyaroğlu, M. (2005). *Ilman İklim Meyve Türleri, Yumuşak Çekirdekli Meyveler*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, İzmir, 200.
- [4] Türkiye İstatistik Kurumu. (2020). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>, (18.11.2021).
- [5] T.C. Bilecik Valiliği İl Tarım ve Orman Müdürlüğü İl Brifingi. (2020). <https://bilecik.tarimorman.gov.tr/Menu/2/Brifinglerimiz>, (15.10.2021).
- [6] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. (2021). Bilecik Coğrafyası. <http://bilecik.meb.gov.tr/www/cografya/icerik/23>.
- [7] Türkiye İlleri İlçeleri Mahalleleri ve Köyleri. Bilecik Merkez köy Sayıları. <https://www.nufusune.com/ilceler>.
- [8] T.C. İnhisar Kaymakamlığı. (2021). Genel Coğrafya ve Yeryüzü Şekilleri. <http://www.inhisar.gov.tr/genel-cografya-ve-yeryuzu-sekilleri>.
- [9] T.C Söğüt Kaymakamlığı. (2021). Coğrafi yapı. <http://sogut.gov.tr/cografi-yapi>.
- [10] Başkaya, Z. (2012). Göl pazarı'nın Kuruluşu, Gelişmesi ve Fonksiyonel Özellikleri. *Doğu Coğrafya Dergisi*. 16(25), 133-161.
- [11] BEBKA. (2012). Pazaryeri. https://www.bebka.org.tr/admin/datas/sayfas/198/pazaryeri-ilce-raporu_1568788183.pdf.
- [12] Öztürk Erdem, S., & Çekiç, Ç. (2019). Bilecik İli Pazaryeri İlçesi Çilek Üretim Potansiyeli. VI. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu, 5-7 Eylül 2019. Bildiri Özetleri Kitabı. 39.
- [13] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Bilecik İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. (2021). Mavi Yemiş Fidan Dağıtımı. <https://bilecik.tarimorman.gov.tr/Haber/1082/Pazaryeri-Ilcemizde-15-000-Adet-Mavi-Yemis-Fidani-Dikimi-Gerceklestirildi>.
- [14] Bilecik Ticaret ve Sanayi Odası. (2021). Bilecik, İlçeleri, Bozüyük. <http://bileciktso.org.tr/>.

Derleme Makalesi - Review Article

Aflatoxin Problem in International Trade of Pistachios and Solution Suggestions

Antep Fıstığının Uluslararası Ticaretinde Aflatoksin Sorunu ve Çözüm Önerileri

Fatma Coşkun Topuz^{1*}, Seda Akfırat²

Geliş / Received: 20/12/2021

Revize / Revised: 25/04/2022

Kabul / Accepted: 27/04/2022

ABSTRACT

Consumption of hard-shelled fruits is increasing because of containing high amounts of mineral substances, vitamins, antioxidants, and polyphenols. Aflatoxins are toxic substances usually produced by fungi called *Aspergillus flavus* or *Aspergillus parasiticus* and have carcinogenic effect. Aflatoxin contamination in hard-shelled fruits, which have an important place in the domestic and foreign markets, is one of the leading negative situations that threaten human health and cause serious economic losses to producers in international markets. For this reason, aflatoxin contamination limit has been set for each hard-shelled fruit traded by food organizations. Fresh fruits, vegetables, and hard-shelled fruits have a substantial share in our country's agricultural exports. Among the hard-shelled fruits, pistachio is a product with high economic value and highly demanded both at national and international. Producer companies are worried about some obstacles and economic losses in the international trade of pistachios. In this study, the factors that cause aflatoxin in pistachios and solutions are discussed. In addition, it is the basis of the study to control possible food safety hazards that are harmful to human health and to contribute to the prevention of economic losses experienced by producers in national or international trade.

Keywords- *Pistachio, Aflatoxin, Food Safety, Quality, International Trade*

ÖZ

Sert kabuklu meyvelerin tüketimi, yüksek miktarda mineral madde, vitamin, antioksidan ve polifenollerini içermesinden dolayı artmaktadır. Aflatoksinler, genellikle *Aspergillus flavus* veya *Aspergillus parasiticus* türü küfler tarafından üretilen toksik maddeler olup insanlarda kansorejen etki gösterebilirler. İç ve dış pazar da önemli bir yere sahip olan sert kabuklu meyvelerde aflatoksin kontaminasyonu, insan sağlığını tehdit eden ve üreticileri uluslararası pazarlarda ciddi ekonomik kayıplara uğratan olumsuz durumların başında yer almaktadır. Bu sebepten, gıda örgütleri tarafından ticareti yapılan her sert kabuklu meyve için aflatoksin bulaşma sınırı konulmuştur. Ülkemiz tarım ihracatında taze meyve sebze ile sert kabuklu meyveler azımsanmayacak bir paya sahiptir. Sert kabuklu meyveler arasında Antep fıstığı, ekonomik değeri yüksek, gerek yurt içi gerekse yurt dışında oldukça talep gören bir üründür. Antep fıstığının uluslararası ticaretinde bazı engeller ve uğrayabilecekleri olası ekonomik zararlar üretici firmaları tedirgin etmektedir. Bu çalışmada, Antep fıstığında aflatoksinin sebep olan faktörler ve çözüm önerileri ele alınmıştır. Ayrıca, insan sağlığına zararlı olası gıda güvenliği tehlikelerini kontrol altına almak ve üreticilerin ulusal veya uluslararası ticarete yaşadığı ekonomik kayıpların engellenmesine katkıda bulunmak çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler- *Antep Fıstığı, Aflatoksin, Gıda Güvenliği, Kalite, Uluslararası Ticaret*

^{1*}Corresponding author contact: fatmacoskun@hakkari.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-3136-6983>)

Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Hakkâri Üniversitesi, Hakkari, Türkiye

²Contact: sedaoztas@windowslive.com (<https://orcid.org/0000-0001-5865-833X>)

ENSA Fıstık, Nizip, Gaziantep, Türkiye

I. INTRODUCTION

Although the trade volume is similar to the economic situation of the countries, the trade of agricultural products is different from the general trade. Agricultural trade is affected by many factors such as agricultural policies, exchange rate, population growth, especially the amount of production. Agricultural foreign trade, which is an important pillar of the economy in most countries, also provides motivation for more production and creates employment [1]. Agriculture is a strategic sector for our country, as it is for all countries, due to its increasing food demands, its contribution to national income and employment through agriculture-based industries, its effects on demographic and socio-cultural structure, biological diversity and environment. Since the raw material of the food industry is obtained through agricultural production, the food and agriculture sectors are directly related to each other [2]. Many studies have been conducted on the production steps, import and export potential, economic value, and health effects of pistachios. In this study, the precautions to be taken from the soil to the end consumer in order to prevent the aflatoxin problem, which is one of the factors that cause the most economic loss in Pistachio, which is an important export product for our country, unlike other studies, are mentioned.

II. PRODUCTION, TRADE AND USAGE AREAS OF PISTACHIO

Pistachio (*Pistacia vera* L.) is an edible shell fruit from the gum tree family (Anacardiaceae). This fruit, which has been mentioned for centuries, is known as the "King of Fruits". It can be said that pistachio basically has two gene centers. These are the Central Asian gene center (North of India, Afghanistan, and Tajikistan) and the Near East Gene Center (Anatolia, Caucasus, Iran and Turkmenistan) [3, 4]. One of the gene centers of pistachio is Turkey [5]. Geographical indication application was made for pistachio on 18.09.1997 by our country, and pistachio was entitled to be a geographical indication (GI) product as of 22.04.2000 [6]. According to FAO data, Iran is the largest pistachio producer in the world, followed by the USA. Turkey is the 3rd biggest producer [6]. Pistachio production area in our country has increased from 2.2 million decares to 3.7 million decares in the last ten years. In addition, apart from the genetic characteristics of pistachio varieties, the amount of production fluctuates with the precipitation of the region [7-9]. While there was a serious decrease in the amount of production in the year following the severe drought, it was determined that a high amount of product could be obtained in the year after the year with good precipitation. Pistachio cultivation in our country is widely carried out in Gaziantep, Şanlıurfa, Siirt, Adıyaman and Kahramanmaraş [10]. On the basis of cities, the cities with the highest increase in pistachio production percentage in the last four years are Batman (203%), Mardin (117%) and Mersin (107%), respectively. [8]. The export of this product, which is in demand both at national and international, was 2,600 tons in Turkey in the 2019-2020 market period, according to TUIK data. Italy ranks first in exports with a rate of 36% and 935 tons. Italy is followed by Germany with 396 tons (15%), Israel with 232 tons (9%) and Syria (4%) with 103 tons. In the same market period, Turkey's pistachio export value reached 50.5 million dollars, and 95% of this value was obtained from unshelled pistachios [11]. However, despite the increase in cultivation areas in our country in recent years, it is seen that the expected increase in the amount of pistachio has not occurred. It can be said that the reason for the lack of increase is the inadequacy of gardening, processing techniques (such as irrigation, fertilization, pruning and soil cultivation), cultivation technique, pollination and fertilization biology and farmer education [3]. According to a study, it was determined that pistachio prices followed an increasing trend every year in the 2008-2018 period. In addition, compared to the price in 2008, pistachio prices in 2018 increased 4.35 times. Competitiveness of Turkey's Pistachio foreign trade was followed in the period of 2012-2017. During this period, Comparative Advantage Coefficient was 9.40 in 2012, it increased to 19.05 in 2016. If the mentioned index value is greater than 1, it is said that that country has competitive power in the relevant sector. However, it may be possible to increase production, competence and competitiveness in exports with the measures that our country will take in pistachio production [12].

Pistachios are mostly consumed in the form of snacks, as well as being preferred to increase nutrient, color and flavor in the production of foods such as chocolate, baklava, cake, ice cream, salami, sausage and sausage. Siirt and Ohadi varieties are mostly consumed as snacks due to their round shape and high cracking rate, while Red, Halabi and Uzun varieties are preferred as raw materials in the confectionery and bakery products industries due to their high aroma properties, taste and dark green color [4,13,14]. While pistachio fruit has higher protein, carbohydrate and caloric value than oily fruits such as hazelnut, almond and peanut in terms of nutritional content, it ranks second after hazelnut in terms of fat content. Pistachios have a low saturated fat content and are a good source of monounsaturated fatty acids. Most of the pistachios produced in our country (60-70%) are consumed as salted-roasted and 30-40% are consumed in the dessert and pastry (ice cream and baklava) industries, while in the USA and Europe 90% is consumed as snacks [10].

III. MYCOTOXINS AND AFLATOXIN

Mycotoxins, which are a threat to human health due to incorrect harvesting and processing techniques for this export product with high economic value, are faced with the problem of aflatoxin, especially. Mycotoxins are generally defined as toxic metabolites produced by some species of molds of the genus *Aspergillus*, *Penicillium*, and *Fusarium* [15, 16]. Today, more than 400 known toxins such as aflatoxins, fumonisins, ochratoxins, zearalenones and trichothecenes have been identified under the title of mycotoxins [17-20]. Mold spores of fungi that produce mycotoxins can be carried everywhere by wind and air currents. With this transport process, mold spores begin to synthesize mycotoxins by reproducing and developing when suitable conditions occur [21]. It can be said that approximately 25% of the agricultural products produced in the world and feeds are contaminated with mycotoxins at a higher rate [22,23]. They are transmitted to human either by animal products contaminated with mycotoxins, or by direct consumption of plants with mycotoxins[24,25].

Probably the most known and researched toxic mycotoxins worldwide are aflatoxins [26]. Among the most common aflatoxins (B1, B2, G1 and G2), the most dangerous is the B1 group [27].

In recent years, the attention given to the health risks associated with the consumption of aflatoxins in food and feed products has increased significantly. As a result, there have been many studies showing adverse health effects in humans and animals exposed to aflatoxin contamination [28,23]. The total amount of aflatoxins that can be found in pistachios sold in the USA is expected to be less than 20 ppb [31,32]. According to RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed) data, 89% of 5045 mycotoxin notifications in foods between 2010 and 2019 were aflatoxin-based. It was also stated that pistachio had the highest share (42%) among aflatoxin notifications. Pistachio was followed by peanuts (34%) and almonds (22%), respectively [33]. Studies have also shown that relative humidity and temperature are two important parameters in the development of aflatoxins [34, 35]. Aflatoxins produced by *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus* occur at 25-35°C, pH range of 3.5-8.0 and water activity varying between 0.95-0.99 [17, 25, 36-38]. In many countries, the amount of mycotoxins in foods and feeds is monitored by mycotoxin contamination analysis programs. The Codex Committee on Contaminants in Foodstuffs (CCCF), which continues its activities under the Codex Alimentarius Commission (CAC), which was established in 1963 within the body of the World Health Organization (WHO) and the Food and Agriculture Organization (FAO), has an important place in terms of production and export in our country, continues to work on pistachio, hazelnuts and dried figs. At the beginning of the problems in the export of these products to the EU is the low aflatoxin limits demanded by the EU [39-42].

IV. METHODS FOR REDUCING AFLATOXIN AMOUNT IN PISTACHIOS

Many techniques are applied to break down mycotoxins, prevent their formation or eliminate the toxic effects of mycotoxins. These techniques can be listed as removing contaminated foodstuffs, thermal treatments, precipitation process, ozone application, use of additives and biological applications. In addition, it can be said that the amount of aflatoxin can be significantly reduced in fresh pistachios using modified atmosphere packaging (N₂) and spraying with antimicrobial agents (ZnO) [43]. However, although these researched techniques are effective to a certain extent; it has several important disadvantages such as not providing sufficient decontamination level, causing loss of nutritional value of the applied foods, leaving residues in the food, requiring high cost and causing the formation of toxic metabolites. In addition, these techniques are mostly laboratory-level small systems consisting of equipment that is economically limited in industry and requires high costs. For these reasons, it is concluded that it is necessary to develop new methods by improving the properties such as process efficiency, processing time, and reduction of toxic effects [44,45]. There are different approaches to reduce the amount of aflatoxin in hard-shelled fruits such as pistachios with natural or most natural methods that will not cause toxic effects. One of these methods, which does not leave toxic residues, is the use of binding agents (such as silicates, complex carbohydrate polymers, activated carbon, lemon juice, citric acid) to reduce the amount of aflatoxin [46, 47]. In addition, in a study on mice, it was determined that the yeast *Saccharomyces cerevisiae* with the GRAS (considered safe) structure provided a significant decrease in the amount of aflatoxin given to the mice with the diet [48, 49]. In a different study, it was revealed that the amount of aflatoxin present in pistachio was reduced by using atoxygenic isolates of *A. flavus* [31]. In recent years, there have been many studies showing that isolates and proteins of biologically various microorganisms reduce the amount of aflatoxin, as well as examining the effects of gamma radiation on aflatoxins is a relatively new research area. It has been determined that the amount of aflatoxin in pistachio can be reduced by 97% with gamma radiation [50]. Aflatoxins can reproduce during harvesting, drying, storage and processing of the product, or they can develop while the product is in the

field or in the garden [51]. In the following titles, critical points related to the prevention of aflatoxin growth in pistachios from pre-harvest to the final consumer are mentioned.

Pistachios are susceptible to insect infestation in May and June, when the skins of the fruits are still soft, and therefore farmers apply plant protection products against pests. Excessive irrigation of fruits while the tree is still is one of the factors that increase the risk of aflatoxin. For this, the farmer should be trained on these issues. Ripening begins in July and ends in the last days of August, when the harvest begins. If insect infestations are not above the threshold values, crop protection products are generally not preferred at this stage [52]. Aflatoxin risk increases in pistachios that are not harvested on time [53]. For this reason, the right harvest time is an important step in preventing the risk of aflatoxin. Delayed harvest not only increases the level of aflatoxin in the product, but also increases the amount present in contaminated products to high levels. A study conducted in the USA showed that a 12-day delay in pistachio harvest increased aflatoxin contamination approximately 3-fold [54]. The cracked areas in pistachios are quite open to insect attacks. Another important issue to be considered while harvesting pistachios is that the fruit does not come into direct contact with the soil. A flat oxinogenicity was recorded as 47% in fruits that fell to the ground near harvest. For this reason, it is recommended to separate the pistachios that have come into contact with the ground from the ones that have not, and to select them and to pack the fruits separately. It has been observed that aflatoxin growth is completely in the orchard in pistachios processed in the USA and it has been stated that it does not increase during processing [38]. Harvest is the most important part in the formation of aflatoxin. If aflatoxin has formed in the pistachios during the harvest period, it will be a critical control point to work on not increasing the amount of aflatoxin in the next stages, to control the risk, and to prevent the infected pistachios from contaminating the uninfected product.

Drying process in pistachios is a critical quality control step in preventing the risk of aflatoxin. Drying process is done in shell or shell form after harvest. The risk of aflatoxin in pistachios whose soft shell is roasted and dried after harvest is less than pistachios that are dried in shell and then processed. This is due to the fact that the shelled dried pistachios are uncontrollably roasted with high amounts of water and not adequately dried. For this, the risk factor is minimized by drying the dry outer shell products quickly with suitable mechanical dryers immediately after roasting in the pistachio processing plants. Spawning with steam is more controlled than spalling with direct water. If slaking is done with water, which is the classical method, the water used in the slaking phase should be of potable quality and water analyzes should be done regularly. Apart from this, the competence and training of the personnel performing the roasting process in the production facility, their monitoring by competent personnel when the mechanical drying system is active, the recording of the results by regularly measuring the temperature and humidity of the roasted and drying product will provide positive contributions in preventing the risk.

There is a risk of aflatoxin contamination of pistachios during storage [49,51]. Correct preservation methods gain importance in preventing quality losses in foods. Water activity, relative humidity, amount of water, moisture balance, dry matter ratio and osmotic pressure are important parameters in the preservation of the quality of the products [38]. Since there is no licensed warehousing in pistachios, the products are stored in unused parts of houses and workplaces or in rental shops and hangars under adverse conditions before arriving at pistachio processing facilities. In addition, stocking culture is common among traders, and product storage in modern warehouses is seen as an additional burden for brokers. It is important to make laws that have sanction in this regard, to tighten the control, and to train the farmer and the broker in this regard in order to obtain healthier pistachios. In general, following some critical rules while storing Pistachio in production facilities prevent the formation of aflatoxin in the product. During storage, keeping the product in the right packaging prevents the formation of aflatoxin. Preserving the pistachios in jute bags, if the pistachios are stored, keeping the product in vacuum packaging reduces the risk of aflatoxin contamination. In order to avoid economic losses, the warehouses where the pistachios are stored must have some qualifications. First of all, the warehouses should be of a cool and dry nature. Since aflatoxin development is observed in areas where large quantities of products are stored, if the environment is not adequately ventilated, storage areas should be ventilated naturally or mechanically, and appropriate ventilation systems should be installed in the warehouse. Wooden pallets should not be used in the storage area; plastic pallets should be preferred instead. Products that are microbiologically spoiled, past the recommended expiry date, unpackaged or open, and without label information should not be stored. The products entering the warehouse should be labeled and tracked with the lot number. In accordance with the first-in, first-out principle, products should be placed in a first-come-first-out manner. The temperature of the warehouses should be observed in the morning and evening and their verification should be done at certain times. The control results should be recorded in the temperature control chart. It is important that the optimum temperature remains

constant throughout storage. In addition, it will be healthier to store fruits with different storage temperatures separately. While pistachios generally have 65-70% relative humidity, 0-7.2°C temperature and 4-6% moisture content in shell, 1 year; if it is unshelled at 0°C, it can be stored for up to 1 year without losing its quality. In addition, it can be stored for up to 3 years at 65-70% relative humidity and -18°C as shelled and unshelled [13].

“Good Agricultural Applications” should be adopted before and during the harvest period for pistachios. It is the most important part of the measures taken at the point of preventing the risk of aflatoxin in the process that starts in the soil, before the harvest and during the harvest period. Separating the pistachios that have come into contact with the soil during the harvest period is one of the first steps to take the risk under control. It is important that the intermediary companies preserve the fruits in suitable conditions. In this regard, government incentives should be increased for the construction of modern warehouses. Industrialists need to adopt some hygiene and quality policies in their facilities in order not to deteriorate the quality of the pistachios that come to the production facilities for processing and to deliver them to the end consumer as a healthy product. During the production phase, cleaning of machinery, tools and equipment should be done in detail and regularly. The industrialist should take the necessary responsibility for the adoption of quality standards in the process from raw material acceptance to the final product, controlling and monitoring every stage of production in detail, and an accurate storage method and subsequent transportation.

V. CONCLUSION

Contamination of aflatoxins with food is a serious health problem. The starting point of aflatoxin formation in pistachios is pistachio orchards. While the fruits are on the tree, the wrong operations applied during and after the harvest increase the risk factor. Pistachio harvest should be done on time. Pistachio trees should not be over-irrigated. Correct and effective spraying should be done while the fruits are on the branch, and pests should be combated. Delayed harvest and over-ripening of the fruit allow the development of aflatoxin. Pistachio traders must store pistachios from the farmer with the right techniques. The trader should distinguish between healthy and problematic products without showing economic concern and should not confuse them. Pistachio processing facilities should adopt food safety quality standards, facilities should comply with regulations and be hygienic. The facilities should be cleaned periodically and the cleaning should be done effectively. Aflatoxin measurements should be made at raw material acceptance and should be a critical control point in the company's HACCP system. Moisture measurements should be made regularly during product processing and should not exceed the critical value. It should be known that it is the basic duty of the farmers, traders and industrialists to take steps by considering human health in the process of this product, which is in great demand in the international market, from the garden to the end consumer. Pistachio, which is stated to be an important geographically indicated product by many researchers, should not be ignored, and its serious impact on employment, growth and development, and international trade on the macro economy. In addition, it is thought that it would be beneficial to increase government incentives in order to increase competitiveness in the international market.

REFERENCES

- [1] Karacan, E.(2019). *Türkiye'nin Antep Fıstığı İhracat Potansiyelinin Karşılaştırmalı Analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- [2] Çebi-Yılmaz, S & Olhan, E.(2017). Avrupa Birliği Gıda ve Yemde Hızlı Alarm Sistemi'nin Türkiye'nin Gıda Ürünleri İhracatı Üzerine Etkilerinin Değerlendirilmesi. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 23(1), 133-144.
- [3] Yavuz, M. A., Yıldırım, H., & Onay, A.(2016). Dünya Antepfıstığı Üretiminde Son On Yılın Değerlendirilmesi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 6(2): 22-31.
- [4] Elbistanlı, Ö., Kantar Davran, M., & Emeksiz, Ö.F. (2020). Gaziantep ili antepfıstığı ihracat pazarlama organizasyonu. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(74): 724-749.
- [5] Atay, Ü. (2007). *Antepfıstığında Kullanılan Sınıflandırma Sistemlerinin İncelenmesi ve Alternatif Bir Sınıflandırma Sisteminin Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- [6] Beypınar, N. N.(2018). *Coğrafi İşaret Tescilinin Antep fıstığı Uluslararası Rekabet Gücü Üzerindeki Etkisinin Ölçülmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- [7] Set, E., & Erkmán, O.(2010). The Aflatoxin Contamination of Ground Red pepper and Pistachio Nuts Sold in Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 2532–2537.

- [8] Aslan, N. (2020). Antep fıstığı İstatistikleri. *Antep fıstığı Araştırma Dergisi*, 8, 1-4.
- [9] Kaminiaris, M. D., Leggeri, M. C., Tsitsigiannis, D. I., & Battilani, P. (2020). AFLA-PISTACHIO: Development of a Mechanistic Model to Predict the Aflatoxin Contamination of Pistachio Nuts. *Toxins*, 1-12.
- [10] Ertürk, Y. E., Geçer, M. K., Gülsoy, E., & Yalçın, S. (2015). Antepfıstığı Üretimi ve Pazarlaması. *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der*, 5(2), 43-62.
- [11] Karacan, E & Ceylan, R. F. (2017). Antep fıstığı Fiyatının Türkiye’de Üretici Kararları Üzerine Etkisinin Analizi. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(1), 88-100.
- [12] Güvenç, İ. & Kazankaya, A.(2021). Türkiye’de Antepfıstığı Üretimi, Fiyat Değişimi, Dış Ticareti ve Rekabet Gücü. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 11(1), 83-88.
- [13] Çağlar, A., Tomar, O., Vatanserver, H., & Ekmekçi, E. (2017). Antepfıstığı (*Pistacia vera* L.) ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. *Akademik Gıda*, 15(4), 436-447.
- [14] Sandal, E. K., & Yurddaş, M. (2019). Şanlıurfa İlinde Antep fıstığı Üretimi ve Maliyet-kazanç Analizi. *ASEAD*, 6, 486-497.
- [15] Hosseini, S. S., & Bagheri, R. (2012). Some Major Mycotoxin and Their Mycotoxicoses in Nuts and Dried Fruits. *Int. J.Agro. Plant Prod*, 3(5), 179-184.
- [16] Wu, Q., & Xu, H.(2020). Design and Development of an On-line Fluorescence Spectroscopy System for Detection of Aflatoxin in Pistachio Nuts. *Postharvest Biology and Technology*, 159, 111016.
- [17] Gürhayta, O. F., & Çağın, Ö. (2016). Kurutulmuş Meyvelerde Aflatoksin ve Okratoksin-A Varlığının ve Sağlık Üzerine Etkilerinin Değerlendirilmesi. *CBÜ Fen Bil. Dergi*, 12(2), 327-338.
- [18] Agyekum, M.,& Jolly, C. M. (2017). Peanut Trade and Aflatoxin Standards in Europe: Economic Effects on Trading Countries. *Journal of Policy Modeling*, 39, 114–128.
- [19] Filazi, A., & Avcı, B. (2018). Applications for the Prevention and Detoxification of Mycotoxins in the Food and Feed Industry. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 4(10), 26-37.
- [20] Açı, M., & Ocak Özdehan, Ö. (2019). Gıdalarda Aflatoksin Düzeylerinin Belirlenmesinde Kullanılan Analiz Yöntemleri. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2), 168-181.
- [21] Günaydın, Ş. (2018). *Farklı Besiyeri Ortamlarında Şelat Ajanlarının Kullanımıyla Aspergillus flavus Gelişimi ve Aflatoksin Üretimini Önlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [22] Pankaj, S. K., Shi, H., & Keener, K. M.(2018). A review of Novel Physical and Chemical Decontamination Technologies for Aflatoxin in Food. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 73-83.
- [23] İbek-Sözen, G. (2019). *Aflatoksin M1 Tayinine Yönelik Elektrokimyasal İmmüno-sensör Geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [24] Şen, L., & Nas, S.(2010). Fındık ve Antep fıstığının Mikotoksin problemi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(1), 49-56.
- [25] Öksüztepe, G., & Erkan, S. (2016). Mikotoksinler ve Halk Sağlığı Açısından Önemi. *Harran Üniv Vet Fak Derg*, 5(2), 190-195.
- [26] Fıışkın, G., Ersoy, G., Gündüz, G., & Fıışkın, K. (2015). Aflatoksin Üreten Küf Mantarlarının Besinlere Bulaşma Yolları, Aflatoksinin Sağlık Üzerine Etkileri ve Besinlerden Aflatoksin Kontaminasyonu Azaltma Yöntemleri. *DPHAD Uluslararası Hakemli Beslenme Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 80-95.
- [27] Ortega-Beltran, A., & Bandyopadhyay, R. (2021). Contributions of Integrated Aflatoxin Management Strategies to Achieve the Sustainable Development Goals in Various African Countries. *Global Food Security*, 30, 100559.
- [28] Sherif, S. O., Salama, E. E., & Abdel-Wahhab, M. A.(2009). Mycotoxins and Child Health: The Need for Health Risk Assessment. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 212(4), 347-68.

- [29] Khlanguiset, P., Shephard, GS., & Wu, F. (2011). Aflatoxins and Growth Impairment: a review. *Critical Reviews in Toxicology*, 41 (9), 740–755.
- [30] Atlı, H. S., Bozkurt, H., & Sarpkaya, H. (2014). Antepfıstığı Anaçlarının Antepfıstığı Çeşitlerinin Erken Çıtlamasına Etkisi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 7 (1), 30-36.
- [31] Ortega-Beltran, A., Moral, J., Picot, A., Puckett, R. D., Cotty, P. J., & Michailides, T. J.(2019). Atoxigenic *Aspergillus flavus* Isolates Endemic to Almond, Fig and Pistachio Orchards in California with Potential to Reduce Aflatoxin Contamination in these Crops. *Plant disease*, 1-8.
- [32] Wu, Q., Xu, J., & Xu, H.(2019). Discrimination of Aflatoxin B1 Contaminated Pistachio Kernels Using Laser Induced Fluorescence Spectroscopy. *Biosystem Engineering*, 179, 22-34.
- [33] Alshannaq, A., & Yu J. H. (2021). Analysis of E.U. Rapid Alert System (RASFF) Notifications for Aflatoxins in Exported U.S. Food and Feed Products for 2010–2019. *Toxins*, 13, 90.
- [34] Odoemelam, S. A., & Osu, C. I. (2009). Aflatoxin B1 Contamination of Some Edible Grains Marketed in Nigeria. *E-JChem*, 6 (2): 308–14.
- [35] Taghizadeh, S. F., Rezaee, R., Davarynejad, G., Asili, G., Nemati, S. H., Goumenou, M., Tsakiris, I., Tsatsakis, A. M., Shirani, K., & Karimi G.(2018). Risk Assessment of Exposure to Aflatoxin B1 and Ochratoxin A through Consumption of Different Pistachio (*Pistacia vera* L.) Cultivars Collected from Four Geographical Regions of Iran. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 61, 61-66.
- [36] Davarani, F. H., Ashrafzadeh, M., Riseh, R. S., Asfhar, E. G., Mohammadi, H., Razavi, S. H., Mandegary, A., & Mohammadinejad, R. (2018). Antifungal Nanoparticles Reduce Aflatoxin Contamination in Pistachio. *Pistachio and Health Journal*, 1(2), 26-33.
- [37] Diella, G., Caggiano, G., Ferrieri, F., Ventrella, A., Palma, A., Napoli, C., Rutigliano, S., Lopuzzo, M., Lovero, G., & Montagna M. T. (2018). Aflatoxin Contamination in Nuts Marketed in Italy: Preliminary results. *Ann Ig*, 30, 401-409.
- [38] Wu, Q., & Xu, H.(2019). Application of Multiplexing Fiber Optic Laser Induced Fluorescence spectroscopy for detection of aflatoxin B1 contaminated pistachio kernels. *Food Chemistry*, 290, 24–31.
- [39] Özer, H. 2009). *Fındıklara uygulanan fiziksel ve ısıl süreçlerin aflatoksinler üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [40] Aksoy, U.(2013). Kuru meyve sektöründe standartlar. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan, İzmir.
- [41] Sedefoğlu, C.(2013). *Antep fıstıklarında Okratoksin a ve Aflatoksin Varlığının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [42] Rezaie, M. R., & Zareie, N.(2021). Impact of Granite Irradiation on Aflatoxin Reduction in Pistachio. *Toxicon*, 199, 7-11.
- [43] Kazemi, M. M., Hashemi-Moghaddam, H., Nafchi, A. M., & Ajodnifar, H. (2020). Application of Modified Packaging and Nano ZnO for Extending the Shelf Life of Fresh Pistachio. *Journal of Food Process Engineering*, 43, 12.
- [44] Şen, Y. (2015). *Atmosferik Basınç Plazma Uygulamasının Gıdaların Dekontaminasyonu ve Detoksifikasyonu Amacıyla Kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [45] Tunç, M. (2019). *Ozonlama İşleminin Kontamine Çiğ Fındıkların Aflatoksin Detoksifikasyonuna ve Fizikokimyasal Özelliklerine Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [46] Rastegar, H., Shoeibi, S., Yazdanpanah, H., Amirahmadi, M., Khaneghah, A. M., Campagnollo, F. B., & Sant'ana, A. (2017). Removal of aflatoxin B1 by Roasting with Lemon Juice and/or Citric acid in Contaminated Pistachio Nuts. *Food Control*, 71: 279-284.

- [47] Moslehi, Z., Nafchi, A. M., Moslehi, N., & Jafarzadeh, S.(2021). Aflatoxin, Microbial Contamination, Sensory Attributes, and Morphological Analysis of Pistachio Nut Coated with Methylcellulose. *Food Science and Nutrition*, 9, 2576–2584.
- [48] Abdolshahi, A., Tabatabaieyazdi, F., Shabani, A. A, Mortazavi, S. A, & Marvdashti, L. M. (2018). Aflatoxin Binding Efficiency of *Saccharomyces cerevisiae* Mannoprotein in Contaminated Pistachio Nuts. *Food Control*, 87, 17-21.
- [49] Abdolshahi A, Marvdashti M, Salehi B, Sharifi-Rad M, Ghobakhloo S, Iriti M, & Sharifi-Rad J. (2018). Antifungal Activities of Coating Incorporated with *Saccharomyces cerevisiae* Cell Wall Mannoprotein on *Aspergillus flavus* Growth and Aflatoxin Production in pistachio (*Pistacia vera* L.). *Journal of Food Safety*, 39(2), 1-6.
- [50] Hassanpour, M., Rezaie, M., Faruque, M., & Khandaker, M. (2021). A Novel Approach for the Reduction of Aflatoxin in Pistachio Nuts Using Experimental and MCNP Simulation. *Radiation Physics and Chemistry*, 189, 109752.
- [51] Yentür, G., & Er, B. (2012). Gıdalarda Aflatoksin Varlığının Değerlendirilmesi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69(1), 41-52.
- [52] Georgiadou, M., Dimou, A., & Yanniotis, S. (2012). Aflatoxin Contamination in Pistachio Nuts: A farm to storage study. *Food Control*, 26, 580-586.
- [53] Shakerardekani, A., Karim, R., & Mirdamadiha, F. (2012). The Effect of Sorting on Aflatoxin Reduction of Pistachio Nuts. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10 (1), 459-461
- [54] Doster, M. A., Michaildes, T. J., Gold Hamer, D. A., & Morgan, D.P. (2001). In Sufficient Spring Irrigation Increases Abnormal Splitting of Pistachio Nuts. *Calif. Agric*, 55, 28-31.

Derleme Makalesi- Review Article

Mikroplastiklerin Deniz Ortamı ve Sucul Canlılara Etkisi

Effect of Microplastics on Marine Environment and Aquatic Organisms

İzel Kenan^{1*}, Arzu Teksoy²

Geliş / Received: 16/02/2022

Revize / Revised: 15/05/2022

Kabul / Accepted: 18/05/2022

ÖZ

Bu derleme çalışmada günümüzde ve gelecekte ciddi çevre problemlerinden biri olarak kabul edilen mikroplastik kirliliğinin deniz ve deniz ekosistemine ait canlılardaki etkisi bütüncül bir şekilde ele alınmıştır. Yapılan kapsamlı literatür araştırmasında büyük oranda atıksu arıtma tesisi deşarjı ve nehir taşınımı ile deniz ortamına karışan birincil ve ikincil mikroplastiklerin canlılar tarafından yutulabilir olduğu, üreme bozukluğu, yalancı tokluk hissi ve yaralanma gibi nedenlerle canlıların olumsuz etkilendiği anlaşılmıştır. Ek olarak plastiklerin elde edildiği hammaddeye bağlı olarak farklı toksik bileşiklerin deniz ortamına taşınımı da mümkündür. Çalışma sonuçları, denizlerde tespit edilen parçacıklara paralel olarak bu ortamlarda yaşayan canlı gruplarının da tamamında benzer özellikte mikroplastik bulunduğunu göstermiştir. Koruma altındaki mercanlar ve memeliler de dahil olmak üzere diğer canlıların farklı yapı ve organlarında tespit edilen parçacıklar, mikroplastiklerin tüm deniz ekosistemine yayıldığı ortaya koymuştur. Mikroplastik tespitinde izlenen farklı yöntemler ve canlıların gelişmişlik düzeyine bağlı değişen örneklem sayısı bulguların karşılaştırılmasındaki zorluklardan birkaçıdır. Yapılan incelemelerde en çok karşılaşılan mikroplastik türleri polipropilen ve polietilen polimerleri ile lif şeklindeki parçacıklar olmuştur. En sık karşılaşılan mavi renkli plastik parçacıkların yanı sıra beyaz, şeffaf ve krem rengi gibi renk skalasında açık renkli olarak değerlendirilen mikroplastiklerin de sucul ortamda oldukça yaygın olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler- Mikroplastik, Mikroplastik Kaynakları, Deniz Ekosistemi

ABSTRACT

In this review study, the effect of microplastic pollution, which is considered as one of the serious environmental problems today and in the future, on marine and marine ecosystems is discussed in a holistic way. In the literature search, primary and secondary microplastics has been observed which are mixed with the marine environment by wastewater treatment plant discharge and river transport, therefore, many marine organism are ingested microplastics and negatively affect living things due to reproductive disorders, fake satiety and injury. In addition, depending on the raw material from which the plastics are obtained, it is possible to transport different toxic compounds to the marine environment. In the extensive literature research, it has been understood that primary and secondary microplastics, which are mixed with the marine environment by wastewater treatment plant discharge and river transport, can be swallowed by living things and negatively affect living things due to reproductive disorders, false satiety and injury. In addition, depending on the raw material from which the plastics are obtained, it is possible to transport different toxic compounds to the marine environment. The results of the study showed that in parallel with the particles detected in the seas, microplastics with similar properties were found in all living groups living in these environments. Particles detected in different structures and organs of

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: izelkenan95@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-9853-5844>)

Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye

²İletişim: arzu@uludag.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-9134-1377>)

Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye

other creatures, including protected corals and mammals, revealed that microplastics have spread throughout the entire marine ecosystem. The most common types of microplastics in the examinations are polypropylene and polyethylene polymers and fiber-shaped particles. In addition to the most common blue colored plastic particles, it was concluded that microplastics, which are evaluated as light-colored in the color scale such as white, transparent, and cream, are also quite common in the aquatic environment.

Keywords- Microplastic, Source of Microplastic, Marine Ecosystem

I.GİRİŞ

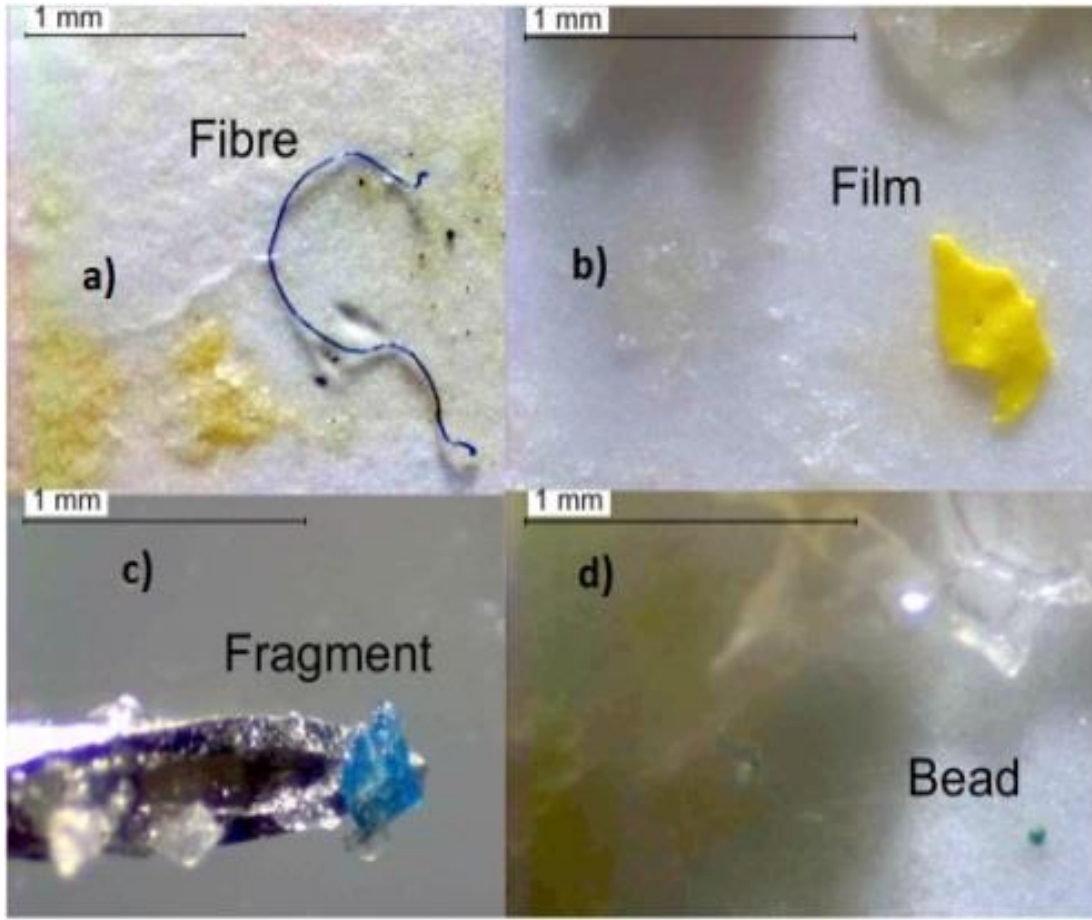
Düşük üretim maliyeti ve geniş kullanım alanı olması nedeniyle dünya üzerindeki plastik üretimi oldukça fazladır [1-2]. 2020 yılında dünya çapındaki plastik üretimi 360 milyon ton, Avrupa'da ise 55 milyon ton'dur [3]. En yaygın üretilen sentetik plastikler polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC), polistiren (PS) ve polietilen tereftalat (PET) [4]. Son 30 yıldır çevresel ortamlara dağılmış olan plastiklerin varlığı endişe verici olup küresel bir sorun haline gelmiştir [5]. Çevresel ortamlarda biriken plastik miktarının 2060 yılına kadar 155-265 ton olacağı tahmin edilmekte olup [6-8], günümüzde yaşanan COVID-19 pandemisi nedeniyle artan yüz maskesi, eldiven gibi tıbbi koruyucu ekipmanların kullanımının da bahsi geçen ürünlerin imal edildikleri polimerler sebebiyle plastik kirliliğine daha da etki edeceği tahmin edilmektedir [9]. Ma ve diğ.[9] Dünyanın pek çok yerinden toplamış oldukları maskelerden salınan mikroplastik ve nanoplastikleri emisyon taramalı elektron ve atomik kuvvet mikroskopu ile incelemişlerdir. İnceledikleri maskelerden elde ettikleri çalışma sonuçları nanoplastik yoğunluğunun daha fazla olduğunu, mikroplastiklerin ise nispeten daha az oranda olduğunu ve maske başına $1,3-4,4 \times 10^3$ adet parçacığın ortama salındığını bildirmişlerdir [9]. İnsan faaliyetleri sonucu oluşmuş, boyutları 5 mm'den daha küçük olan kalıcı plastik atıklar 'mikroplastikler' olarak adlandırılmaktadır [2,10,11].

Çevresel ortamlarda biriken bu plastikler iki sınıfta incelenmektedir. Bunlardan;

Birincil mikroplastikler spesifik alanlarda kullanılmak üzere çok küçük boyutlarda üretilen plastik parçacıklar 'birincil mikroplastikler'i oluşturmaktadır [12]. Çeşitli kozmetik ürünleri, peelingler, temizleyiciler, hava püskürtücüler, diş macunları, mikroboncuklar, sentetik lifler, plastik üretimi sonucu oluşan pelet döküntüleri, boyalar ve yapıştırıcılar birincil mikroplastikler sınıfına girmektedirler [12-16].

İkincil mikroplastikler ise özellikle küçük boyutlarda üretilmemiş, daha büyük plastik parçaların çevresel şartlarda bozunmasıyla meydana gelmektedirler [12]. Çamaşır makinelerinde ve kurutucularında tekstil kumaşından kopan lifler, ambalajlı ürünlerin paketlerinin açılması sırasında ortama karışan plastik parçacıklar, araç lastiklerinin zamanla bozunmasıyla oluşan döküntüler, gemi boyalarının ve kaplamasının zamanla yıpranıp bozunması, sigara izmaritlerinden kopan lifler ve plastik çöpün deniz ortamında bozunması ikincil mikroplastiklere örnek olarak gösterilebilmektedir [7,17-21].

Bu konuda yapılan çalışmalarda, mikroplastiklerin atmosfere [22,23], deniz suyuna [2,12], deniz sedimanına [1] tatlı sulara [24-26], insan faaliyetlerinden uzak bölgelere [27], arktik bölgelere [28] atıksu ve arıtma çamuruna [29] [30], düzenli depolama sahası sızıntı sularına [31], toprağa ve ormanlık arazilere [13,32] karıştığı tespit edilmiştir. Morfolofik özelliklerine göre mikroplastikler; lifler, filmler, parçalar ve küresel şekilli boncuklar olarak (Şekil 1.) sınıflandırılmaktadırlar [33]. Mikroplastiklerin sucul ortama etkileri hakkında yapılan ilk araştırmalarda odak noktası Caroenter ve Smith [34]'e göre mikroplastiklerin bakterilerin büyümesi ve çoğalması için bir yüzey görevi görmesidir [34]. Fakat daha sonra yapılmış olan çalışmalarda, plastik malzemelerin çevresel ortamda fiziksel ve kimyasal olaylar sonucu bozunmasıyla yüzey alanlarının arttığı ve plastiklerin hidrofobik bir yüzeye sahip olması nedeniyle çeşitli hidrofobik organik kirleticileri (polisiklik aromatik hidrokarbonlar, poliklorlu bifeniller vb), ağır metalleri, pestisitleri, farmosötik kirleticileri ve ksenebiyotik kimyasalları üzerlerine absorbladığı bildirilmiştir. Ayrıca bu kirleticilerin sucul canlıların besin zincirine girebildiği bu sayede sucul canlıların bünyesinde birikerek çeşitli anomaliliklere sebep olduğu ve besin zinciri yoluyla insanlara kadar taşınabildiği belirtilmiştir [2,4,13,35-37].



Şekil 1. Mikroplastik şekilleri a) lif, b) film, c) parça, d) boncuk [54]

Yapılan bu derleme çalışmada, konu ile ilgili son yıllarda yayınlanmış makalalar göz önüne alınarak mikroplastiklerin, okyanus ve deniz ortamına geçişleri, mikroplastik kirliliğinin boyutu ve deniz habitatında bulunan canlılardaki maruziyetinin mevcut durumunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca besin zincirinin farklı basamaklarındaki canlılardaki mikroplastik birikimini ortaya koyan çalışmalar irdelenerek mikroplastiklerin sucul canlılar ve besin zinciri yoluyla insanlar üzerindeki toksik etkilerine dikkat çekilmek istenmiştir.

II. MİKROPLASTİKLERİN ÇEVRESEL ORTAMA GEÇİŞLERİ

Dünya genelinde insan nüfusunun neredeyse yarısı deniz kıyısı veya denize yakın bölgelerde yaşam sürdürdüğü için karasal kaynaklı plastik çöpler, deniz çöpünün oluşmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır [12] [19]. Kişisel bakım ürünlerinde kullanılan mikroboncuklar ve yıkama esnasında kumaşlardan kopan lifler gibi birincil ve ikincil mikroplastikler kanalizasyon vasıtası ile kentsel atıksu arıtma tesislerine gelen en yaygın mikroplastiklerdir. Boyutlarının çok küçük olmasından ya da arıtma sisteminin giderim için uygun olmamasından dolayı bu mikroplastikler yüzeysel sulara deşarj edilebilmektedirler [19,38-40]. Yapılan araştırmalarda, kentsel atıksu arıtma tesislerindeki ikincil ve üçüncül arıtma proseslerinde mikroplastiklerin %40 ila %99,9 oranında tutulduğu düşünülmese rağmen deşarj edilen sulara yine de mikroplastik mevcudiyetinin olduğu bildirilmiştir [39-42]. Tespit edilen konsantrasyonlar düşük olsa bile alıcı ortama verilen günlük su hacminin binlerce m³ olduğu göz önüne alınırsa ortama verilen mikroplastik miktarının ciddi boyutlara ulaştığı görülmektedir [29]. Atıksu ve arıtılmış atıksu deşarjı yapılan nehirlerin, içerdikleri mikroplastikleri beraberinde taşıyarak deniz ve göl ortamlarına taşıdıkları düşünülmektedir [39].

Franco. ve diğerlerinin [43] İspanya'nın Cádiz kentinde yapmış olduğu çalışmada bu durum açıkça ortaya konulmuştur. Evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisinin giriş ve çıkışında, ayrıca bu tesislerin deşarj ettiği alıcı ortamdaki örneklerde bulunan mikroplastik konsantrasyonun ve atıksu arıtma tesislerinin giderim veriminin belirlenmesinin amaçlandığı çalışmada kentsel AAT'nin ve endüstriyel AAT'nin mikroplastikleri arıtma

veriminin sırası ile %97,46 ve %91,62 olduğu belirlenmiştir. Buna rağmen araştırmanın yapıldığı 3 ay boyunca kentsel AAT'den Atlantik okyanusuna günde ortalama $1,49-1,94 \times 10^9$ MP/gün, endüstriyel AAT'den ise $1,07-2,64 \times 10^7$ MP/gün deşarj edildiği hesaplanmıştır. Araştırmacılar endüstriyel AAT'nin kentsel AAT'ne göre daha az konsantrasyonda mikroplastik deşarj etme nedeninin endüstriyel AAT'nin daha küçük debilerde çalışıyor olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Alıcı ortamdaki durum ise, kentsel AAT'nin deşarj yaptığı bölge 1'de ortalama $0,83 \pm 0,26$ MP/L, endüstriyel AAT'nin deşarj bölgesindeki (bölge 2) ortalama konsantrasyon $6,64 \pm 2,71$ MP/L olarak belirlenmiştir [43].

Atıksuların arıtılması sırasında mikroplastikler çamura transfer edildiği için, arıtma çamurları atıksudan daha konsantre şekilde mikroplastik içermekte ve çamurun araziye uygulanması durumunda mikroplastiklerin toprak ortamına geçişi söz konusu olabilmektedir [29] [44]. Li X. Ve diğerleri [30], Çin'de 11 ilde bulunan 28 atıksu arıtma tesisine ait 79 adet çamur örneğini incelemişlerdir. Arıtma çamurunun arazide bertarafının önemli bir mikroplastik kaynağı olduğu şüphesi ile yapılmış olan bu çalışmanın sonuçlarında 1kg kuru çamur için ortalama $22,7 \pm 12,1 \times 10^3$ partikül tespit etmiş olmakla birlikte, Çin'de oluşan çamur miktarına bağlı olarak yılda $1,56 \times 10^{14}$ partikülün çevresel ortama taşındığını hesaplamışlardır [30].

Mikroplastiklerin çevreye yayılımında su ile taşınım önemli bir kaynak olmakla birlikte katı atıklar da birer mikroplastik kaynağı olabilmektedir [45]. Katı atık bertaraf yöntemlerinden biri olan düzenli depolama sahalarında; evsel katı atıklar, arıtma çamurları ve sanayi faaliyetlerinden kaynaklı atıklar bertaraf edilmektedirler. Deponi sahalarının fiziksel özellikleri nedeniyle mikroplastiklerin sızıntı suyu yoluyla ya da atmosfere karışması yoluyla toprağa girebilirler [31]. He ve diğerleri [31], deponi sahalarının potansiyel mikroplastik kaynağı olabileceği düşüncesine açıklık getirmek için; Şangay, Wuxi, Suzhou ve Changzhou şehirlerinde bulunan dört aktif ve iki kapalı olmak üzere toplam altı kentsel katı atık depolama tesisinden 12 tane sızıntı suyu örneğini incelemişlerdir. Araştırmacılar hem aktif hem kapalı sahalarda yani tüm sızıntı suyu örneklerinde mikroplastik varlığını tespit etmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarında sızıntı suyu örneklerinden toplam 621 plastik parça ve ortalama $0,42-58$ öge/L arasında değişen konsantrasyonlarda parçacık tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, PE (%34,94) ve PP (%34,94) baskın olarak toplam 17 adet plastik türü bulunmuşlardır. Tespit edilen plastik partiküllerin %99,36'sının çizgi şeklinde, kalan kısmın pul, köpük ve parça şeklinde olduğu bildirilmiştir. Mikroplastiklerin deponi sahalarından çevresel ortama karışması olasılığını doğrulamak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır [31].

Plastik kirliliğindeki artış havada bulunan mikroplastikleri merak konusu haline getirmiştir. Dris ve diğerleri [22] yapmış olduğu bir çalışmada insanların günün büyük bir bölümünü geçirdiği ev ve ofis gibi kapalı mekanlarda havada bulunan mikroplastik konsantrasyonunu $0,4-59,4$ lif/m³ olarak tespit etmişlerdir. Yine aynı çalışmada açık alanlarda havada bulunan mikroplastik konsantrasyonun $0,3-1,5$ lif/m³ olduğu ifade edilmiştir [22]. Mikroplastikler sahip oldukları boyut ve yoğunluk özellikleri nedeniyle havada asılı halde kalıp hava sirkülasyonu yoluyla uzak mesafelere transfer edilebilirler. Liu ve arkadaşlarının bu konuda yapmış oldukları çalışmada havada asılı kalan mikroplastiklerin deniz ortamına transferinin mümkün olabileceğini öne sürmüşlerdir [46].

III.DENİZ VE OKYANUSLARDA MİKROPLASTİKLER

Literatüre mikroplastik teriminin kazandırıldığı günden bugüne deniz ve okyanuslarda yapılmış araştırmalar bizlere denizlerin tamamında plastik kirliliğinin olduğunu göstermektedir [5,26,47]. Thiele ve diğ. (2021) göre sadece kültür balıkçılığı faaliyeti 300 milyondan fazla parçacığın bir yılda denizlere girmesine neden olmaktadır [48]. Mikroplastikler okyanus ve denizlerde bulunan girdaplarda, dip sedimanlarında ve sanayinin yoğun olduğu bölgelerde birikme eğilimindedir [5,47,49]. Courtene-Jones [50], Kuzey Atlantik Okyanusu'nda derin kısımlarda mikroplastik konsantrasyonunu $70,8$ partikül/m³ olarak hesaplamış ve mikroplastiklerin deniz dibinde birikebileceğini öne sürmüştür [50].

2014 yılında tüm okyanuslarda $5,25$ trilyon parçacık bulunduğu [26] Hint Okyanusu sedimanlarında ise km²'ye 4 milyar lif düştüğü bildirilmiştir [5].

Adriyatik bölgesinde su, sahil, deniz tabanı ve biyotadaki mikro ve makro plastiklerin varlığına yönelik yapılan çalışmalar, en çok araştırılan ortamların su (%42), sahil tortusu (%36) ve biyota (%18) olduğunu göstermiştir. İtalya'daki Po Deltası'nın plastik döküntünün en çok görüldüğü alan olduğu dikkat çekmiştir. En çok örneklenen polimerlerin ise PE, PP ve PS olduğu ve özellikle bölgenin turistik olan kısımlarında mikroplastik kirliliğinin mevsimsel olarak değiştiği ancak tüm Adriyatik bölgesinde mikroplastiklerin tespit edildiği bildirilmiştir [51].

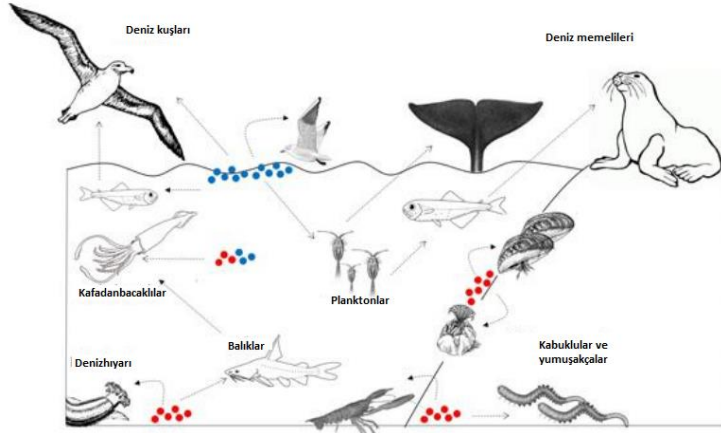
Tuna Deltası ve Romanya kıyılarına yakın bir bölgede 12 adet yüzey suyu numunesinin incelendiği çalışmada, Mangalia şehri açıklarından toplanan numunelerin en yüksek konsantrasyonda mikroplastığe sahipken, yüksek konsantrasyonda olması beklenen Köstence yakınlarından alınan numunelerin daha düşük miktardamikplastik içerdiğini göstermiştir. Numunelerde PP, PE, PS, poliakrilonirtil (PAN), PA, poliakrilat (PAR) ve polysterdi (PES) polimerlerinden oluşan ve şekilsel olarak %74,6 lif, %12,7 folyo, %11,1 parça, %1,5 lif kümesi, %0,1 sferül içeren toplam 3289 parçacık tespit edilmiştir. Parçacıkların renklerine göre dağılımı ise %46,6 siyah, %24,6 beyaz ve %16 mavi şeklinde olmuştur. Bu durum Tuna Nehri'nden Karadeniz'e yüksek hacimlerde mikroplastik taşındığını ve Batı Karadeniz'de de mikroplastiklerin varlığını işaret etmektedir [52].

Russel ve Webster [53], İskoçya denizlerindeki mikroplastik konsantrasyonunun yıllık değerlendirmesini yapmak için Ocak 2014 ve Ocak 2020 yılları arasında aralarında 26 adet açık deniz bölgesi olmak üzere toplam 398 istasyondan toplanmış numuneleri analiz etmişlerdir. Örnekleme bölgelerinin neredeyse %65'inde mikroplastik tespit edilmiş ve ortalama konsantrasyon 4565 mikroplastik / km² olarak hesaplanmıştır. Gözlemlenen mikroplastiklerin genellikle PP veya PE'den yapılmış pembe, mavi ve beyaz renkli parçalardan ve boncuklardan oluştuğunu raporlamışlardır. Araştırmacılar İskoçya'daki kentsel ve endüstriyel alanların fazla olduğu bölgelere yakın örnekleme noktalarında daha yüksek konsantrasyonlarda mikroplastik varlığını tespit etmişlerdir. Bu plastik parçacıkların poşet ve gıda ambalajı gibi tüketicilerin kullandığı plastiklerden ve İskoçya'da kullanımı yasak olan kozmetik amaçlı küçük boncuklardan kaynaklandığı düşünülmüştür [53]. Kuzey Avrupa, Kuzey Amerika Arktik bölgesi ve Kuzey Kutbunu kapsayan bir alanda 1015 m 'ye kadar olan derinlikte mikroplastiklerin dağılımını, morfolojik özelliklerini ve polimer türlerini belirlemek için yürütülen araştırmada 71 istasyondan toplanmış numuneleri mikroskop ile görsel olarak incelendikten sonra FTIR ile analiz edilmiştir. Çalışma sonunda deniz suyundaki ortalama mikroplastik konsantrasyonu 186 ± 15,4 partikül/m³ olarak hesaplanmış olup bulunan parçacıkların %92,3'ünün liflerden, %73,3'ünün polyster ve tekstil ürünlerinde kullanılan polimerlerden oluştuğu belirtilmiştir. Yüzey suyu numunelerinde farklı polimerler gözlemlenirken derin su numunelerinde daha çok polyster görülmüştür [54].

Nüfus yoğunluğu nispeten düşük olan Norveç Svalbard yakınlarındaki bir Arktik fiyordda 5 farklı istasyondan alınan 68 sediman örneğinden izole edilen 172 parçacığın %75'inin insan kaynaklı materyal olduğu 19 parçanın ise PE, PET ve PP'den meydana geldiği tespit edilmiştir. Tanımlanan parçacıkların çoğunluğunun liflerden oluştuğu ve %30'unun mavi, %27'sinin kırmızı, %14'ünün beyaz, %11'inin siyah ve %3'ünün turuncu renkli olduğu belirtilmiştir. Mikroplastiklerin dışında çeşitli boya maddeleri de gözlemlenmiştir [37].

IV.DENİZ CANLILARINDA MİKROPLASTİKLER

Denizlerdeki mikroplastik kirliliği üzerine yapılan çalışmalar arttıkça, bilim dünyasının dikkati plastiklerin canlılar tarafından yutulması ve olası etkilerinin araştırılmasına yönelmiştir. Zooplanktonlar, mercan resifleri, midyeler, yumuşakçalar, balıklar, penguenler, farklı deniz kuşları, deniz kaplumbağaları, köpekbalıkları ve hatta deniz memelileri gibi (Şekil 2.) farklı trofik düzeylerdeki canlılarda tespit edilen mikroplastik varlığı tüm dünya için endişe verici bir hal almıştır [21,36,55-60]. Farklı trofik düzeydeki canlılarda yapılan çalışmalar, mikroplastiklerin beslenme davranışlarında farklılaşma, vücut ağırlığında azalma, bağırsaklarda yaralanma, iltihaplanma ve birikim, gelişim bozuklukları, üreme bozuklukları, oksidatif stres ve toksik etkilere neden olmakla birlikte av-avcı ilişkisini etkileme potansiyeli gibi olumsuzluklara neden olduğunu göstermiştir [61]. Deniz canlıları genellikle yutma yoluyla mikroplastiklere maruz kalmaktadırlar. Bununla birlikte deniz memelileri ve deniz kaplumbağalarının soluma yoluyla da mikroplastiklere maruz kaldığı düşünülmektedir ancak bu konuda literatürde boşluklar olduğu bilinmektedir [62]. Eski plastiklerin yüzeyinde oluşan biyofilm tabakasında hastalık yapıcı mikroorganizma kolonileri oluşabilmekte ve bu durum mikroplastiklere maruz kalan canlılarda (örneğin mercanlarda) mikrobiyal hastalıklara sebep olmaktadır [55,63]. İnsanların da tükettiği ve ticaretini yaptığı balık ve kabuklulardan izole edilmiş plastik parçacıklar, besin zinciri yoluyla mikroplastiklerin insanlara aktarımı ve olası etkileri hakkındaki soruları gündeme getirmektedir [61].



Şekil 2. Mikroplastiklerin deniz habitatındaki dağılımı [64]

Planktonlar besin zincirinde ikincil tüketiciler için besin kaynağıdır ve bu canlıların mikroplastikleri yutması besin zincirinin diğer basamakları için büyük önem arz etmektedir [65]. Desforges ve diğ. [66], küçük deniz canlılarının mikroplastik lif ve parçaları bünyelerine almaları ihtimaline yönelik olarak Kuzey Pasifik'te ekolojik açıdan önem arz eden ve büyük boyutları sayesinde incelenmesi kolay olan iki temel zooplankton türünü (*Kalanoid kopepod Neocalanus cristatus* ve euphausiid *Euphausia pacifica*) incelemiştir. Ağustos ve Eylül 2012'de toplanan örneklerin incelenmesi sonucunda 960 adet Kopepod için 25 tane (her 34 bireyde yaklaşık 1 parçacık) ve 413 adet Euphausiid için 24 tane (her 17 bireyde 1 parçacık) mikroplastik tespit etmiş, yutulan parçacıklarda siyah, kırmızı ve mavi rengin baskın olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca Euphausiids örneklerinin yaklaşık %68'i ve Kopepod örneklerinin yaklaşık %50'sinde mikroplastikleri lifler oluşturmuştur. Sanayi faaliyetlerinin olduğu bölgeye yakın olan örnekleme noktalarında daha yüksek konsantrasyonda mikroplastik yutulmuş olup bu konsantrasyonların deniz suyundaki kirlenici konsantrasyonu ile ilişkilidir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar zooplanktonların yoğun olarak mikroplastiklere maruz kaldığı fikrini destekler niteliktedir. Şekil 3'te bir zooplanktonda depolanmış mikroplastikler görülmektedir [66].



Şekil 3. Bir planktonda tespit edilmiş mikroplastik [66]

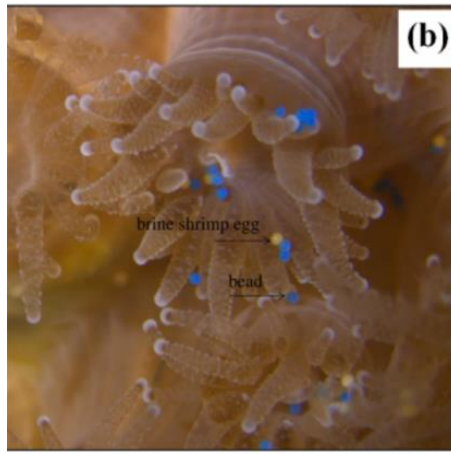
Frias ve diğ. [21], Portekiz kıyılarında 2002-2008 tarihleri arasında dört bölgeden toplanan 152 zooplankton örneklerinden. 93'ünün mikroplastik içerdiğini ve toplamda 684 adet mikroplastik bulunduğunu bildirmiştir. Gözlemlenen en yaygın polimer türü ise Portekiz sahillerinde sıkça rastlandığını öne sürülen düşük yoğunluklu polietilendir (LDPE) Tespit edilen diğer polimer türleri ise PE, PP ve poliadrilat olmuştur. μ -FTIR analizi ile ayrıca gemilerde ve gemi boyalarında kullanılan alkid reçiinesidir. Bu tespit gemilerin gövdesinde oluşan bozulmaların denizler için yeni bir mikroplastik kaynağı olabileceği fikrini düşündürmektedir [21].

Ağustos -Kasım 2018 tarihlerinde Bohai Denizi'nde yapılan bir çalışmada 10 zooplankton grubunda farklı mevsimlerde tespit edilmiş mikroplastiklerin özelliklerini, miktarını ve deniz suyundaki mikroplastik konsantrasyonu ile ilişkisi incelenmiştir. Yağmurlu mevsimde 23 istasyondan, kurak mevsimde 9 istasyondan olmak üzere toplam 32 numunede yağmurlu mevsimde 141 ögeve kurak mevsimde 44 öge tespit edilmiştir. %92'si lifler %8'i parçalardan oluşan mikroplastik şekillerinde mevsimsel olarak bir farklılık olmadığı, her iki sezonda renk dağılımının %51 mavi, %19 siyah ve %13 kırmızı olduğunu tespit edilmiştir. Zooplanktonlardaki mikroplastik uzunluğu ortalama $1230 \pm 1430 \mu\text{m}$, en çok karşılaşılan mikroplastik türü ise %53 oranla selofan olmuştur [68].

Mercan resifleri deniz ekosisteminde biyolojik çeşitliliğe olan katkısından dolayı önemli bir rol üstlenmektedir [69]. Deniz suyundaki mikroplastikler mercanların beslenme boyutlarında olduğundan mercanlar tarafından yutulabilmektedirler (Şekil 4.). Yıpranmış mikroplastiklerin üzerinde oluşan biyofilm tabakası mercanlar için hastalık yapan mikroorganizma kolonilerine ev sahipliği yapabilmektedirler [55,65]. Bilim insanları, çevresel stres kaynaklarından çok çabuk etkilenen bu hassas canlılarda hem laboratuvar ortamında hem de kendi doğal ortamlarında mikroplastiklerin negatif etkilerini gözlemlemişler ve bu konuda daha fazla çalışma yapılması gerektiğini vurgulamışlardır [69-70].

Nisan-Mayıs 2013'te Orpheus Adası çevresinde Büyük Bariyer Resifi (GBR) sularında mikroplastiklerin varlığını belirlemek için yaklaşık 5 m derinlikten toplanan *Dipsastrea pallida* türü mercanlar laboratuvar ortamındaki mikroplastiklere maruz bırakıldıktan sonra besleme hızı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca örnekleme noktalarında plankton ağı kullanılarak deniz suyu örnekleride toplanmıştır. Çalışmanın sonunda poliollerin %21'inin mikroplastik parçacık yuttuğu, her 11000 L deniz suyunda yaklaşık 2 plastik parçacığın bulunduğu, FTIR analizi sonucu deniz suyu numunelerinde tespit edilmiş parçacıkların balıkçılık şamandıralarında yaygın olarak kullanılan polimerlerden meydana geldiği belirlenmiştir [69].

Oldenburg ve diğ. [70], mercanların doğal ortamlarında mikroplastiklere nasıl bir tepki verdiğini anlamak için, Mezoamerikan Bariyer Resif Sistemi (MBRS) üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar Belize MBRS uzantısında 2-5 m arasında iki farklı mercan türüne ait (*Siderastrea siderea* ve *Pseudodiploria strigosa*) toplam 18 adet canlı mercan örneğini önce ışık mikroskopu ile incelemiş, şüpheli olan parçacıkları belirlemiş ve daha sonra FTIR analizi ile polimer türlerini tespit etmişlerdir. Tespit edilen ortalama mikrofiber sayısı 165 ± 50 adet/cm²'dir. FTIR tanımlaması sonucu en sık karşılaşılan polimerlerin %84,9 oranla suni ipek, %10,9 oranla cam elyafi, %1,68 oranla naylon olduğu belirlenmiştir. Gözlemlenen renklerin ise beyaz-şeffaf, mavi, pembe, kırmızı, siyah ve mor olduğu bildirilmiştir. Çalışmanın bir diğer önemli sonucu ise insan yapımı yarı sentetik bir madde olan rayonun plastik sayılmamasına rağmen mercanlarda yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiş olmasıdır [70].



Şekil 4. Mercanda tespit edilmiş bir mikroboncuk [56]

Akdeniz'de yaşayan ve deniz hıyarı olarak bilinen *Holothuria tubulosa*'nın dışkılarındaki mikroplastik miktarını, ayrıca sindirim sisteminden geçişte mikroplastiklerde boyut değişiminin olup olmadığını gözlemek için yapılan bir çalışmada İtalya'da deniz çayırı etrafındaki dışkıları ve yüzeysel tortular incelenmiş, PET, PE, PVC ve naylondan üretilmiş beyaz, mavi, siyah renkli parçalar ve lifler tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda yutulmuş plastiklerin boyutlarında küçülme olmadığı ancak *H. Tubulosa*'nın plastikleri dışkılama yoluyla sediman üzerinde yoğunlaştırıp bunların su kolonuna transferini hızlandırdığı keşfedilmiştir [71].

Doğu Pasifik okyanusunda endemik bir pelajik mürekkep balığı türü olan *Dosidicus gigas*'ın solungaç, bağırsak ve mide dokularındaki mikroplastik varlığını araştırmak için, Ekim-Kasım 2019 tarihlerinde Peru'da yakalanan 24 kalamardan 72 adet doku örneği Gong ve diğ. (2021) tarafından incelenmiştir. Tüm bireylerde mikroplastik tespit edilmiş olup izole edilen parçacıkların dokular arasındaki dağılımının %83,33 mide, %79,17 bağırsak ve %66,67 solungaç şeklinde olduğu belirlenmiştir. Çıkarılan 403 parçacığın %79,33'ü selofan %10,6'sı akrilik ağırlıklı lifler olup siyah-gri ve mavi baskın olmak üzere yeşil, kırmızı ve sarı-kahverengle sahip mikroplastiklerdir [72]. Kabuklu deniz canlıları, deniz mahsülleri tüketiminde dünya çapında önemli bir yere sahiptir. Cauwenbergh ve Janssen (2014) e göre beslenme yoluyla, Avrupa'da yaşayan insanların her yıl 11000

mikroplastığe maruz kaldığı tahmin edilmektedir [72]. Kabuklu deniz canlılarının tüketiminin bol olması ve ticari ürün olmaları nedeniyle bunların mikroplastik yutması ciddi bir tehlike oluşturmaktadır [73]. Neredeyse tüm denizlerde bulunan ve örneklenmesi kolay olan kabuklular deniz yaşamında mikroplastiklerin varlığını ve canlılara olan etkilerini araştırmada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmaların mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki olası etkileri konusunda yeni sonuçların bulunmasına olanak sağlayacaktır [73,75].

Marmara, Karadeniz ve Ege Denizi'ndeki Akdeniz midyelerinin (*Mytilus galloprovincialis*) içerdiği mikroplastik miktarının ve polimer türlerinin değerlendirmesini yapmak üzere Eylül 2019 -Mart 2020 yılları arasında Türk karasularında 23 farklı noktadan alınan toplam 342 adet midyenin incelendiği çalışmada, şekilsel olarak %67,6 parçacık, %28,4 lif ve %4,05 filmlerden oluşan toplam 222 mikroplastik tespit edilmiştir. Bu polimerlerin ağırlıklı olarak %32,9 PET, %28,4 PP ve %18,4 PE olmakla birlikte 12 farklı türde olduğu belirlenmiştir. Çalışmada Türkiye'de tüketilen midye miktarı ortalamasına göre bir insanın yıllık maruziyetinin 1918 parçacık olduğunu hesaplanmıştır [76].

Mikroplastiklerin tespiti ve ağır metallerle aralarındaki ilişkiyi ortaya koymak için Brezilya'nın Paranaíba şehrindeki nehir ağız sisteminde yaşayan bir istridye türü ile (*Crassostrea gasar*) yapılan araştırmada 10 örnekleme noktasından alınan 100 adet istridye incelenmiş ve tüm örnekleme noktalarından alınan istridyelerde mikroplastik tespit edilmiştir. Bunların %78'e yakın kısmı lif olup mavi, kırmızı, siyah, şeffaf, sarı ve mor renktedir. Bu çalışmada tespit edilen mikroplastikler üzerinde ağır metallerin varlığı belirlenmiş ancak bu iki kirlenici arasında anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır [75].

2018 yılında Hindistan'da ticari değeri olan dört kabuklu deniz canlısının (*Metapenaeus dobsoni*, *Fenneropenaeus indicus*, *Uroteuthis (Photololigo) duvaucelii*, *Portunus pelagicus*) yenilebilir dokularında mikroplastik varlığını tespit etmek için 180 örnek incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda birey başına ortalama 0,07 parçacık tespit edilmiştir. En sık rastlanan mikroplastikler ise %69 oran ile parça şeklindeki partiküller olmuştur. Parçacıklarda en sık rastlanan renkler beyaz-şeffaf, mavi ve siyah ağırlıklıdır. Araştırmacılar yıllık kişi başına 13±58 plastik parçacığın kabuklu deniz ürünü tüketimi yoluyla insanlar tarafından alındığını hesaplamışlardır [74].

Bentik deniz ortamında önemli bir canlı olan ve gıda olarak sıkça tüketilen yabancı deniz kestanesi dokularında mikroplastik varlığını belirlemek için, 2019 yılında Çin'in 6 farklı bölgesindeki 12 noktadan alınan 210 deniz kestanesinde 1038 adet mikroplastik tespit edilmiştir. Tanımlanan 10 polimer türünün dağılımı: %36 selofan, %16,29 PET/polyester, %14,03 PE, %7,69 PP-PE, %4,07 PA, %3,17 rayon, %2,71 poliakrilonitril (PAN), %1,36 poliüretan ve %0,90 PVA-PE şeklindedir. Deniz kestanesi dokularında tespit edilen mikroplastik şekilleri de birbirinden farklılık göstermiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, üreme hücrelerini oluşturan organda birikme eğilimi gösteren plastik parçacıkların embriyonik gelişimi etkileyebileceği ve bu durumun türün gelecek nesilleri için endişe verici olduğu öne sürülmüştür [78].

Yunanistan'ın Lipsi adasında yaşayan ve ticari bir deniz ürünü olan mor deniz kestanesinin (*Paracentrotus lividus*) mikroplastik yutma miktarını ve kestanelerin yaşadıkları ortamdaki mikroplastik kirliliğini belirlemek için bir çalışma yürütülmüştür. Adanın etrafını temsil edecek şekilde seçilmiş beş bölgeden 5 adet deniz kestanesi toplanmış ve her sahadan rastgele seçilmiş olan üç farklı lokasyondan üç sediman örneği alınmıştır. İncelenen tüm deniz kestanesi ve sediman örneklerinde mikroplastik bulunmuştur. Deniz kestanelerinde tespit edilen mikroplastik miktarı ıslak ağırlık başına 1,95 g olup, birey başına ortalama 26 parçacık tespit edilmiştir. Parçacıklarda en çok gözlenen renkler %45,43 ile mavi, %22,60 ile renksiz ve %21,63 ile siyahtır. Ayrıca sediman ve deniz kestanesi örneklerinden çıkartılmış olan mikroplastikler arasında da pozitif korelasyon bulunmuştur [79].

Yabancı balık larvalarındaki mikroplastik oluşumunu gözlemek için Nisan-Haziran 2016 tarihleri arasında Plymouth (İngiltere) açıklarında bulunan Batı İngiliz Kanalı'nda üç bölgede, balık larvalarına eş zamanlı olarak deniz suyunda da örnekleme yapılarak bir araştırma yürütülmüştür. Bu araştırmada toplanan 11 örnekte, 23 türden 347 balık larvası incelenmiş ve larvalardan 10 tanesinin sindirim sisteminde mikroplastik olduğu belirlenmiştir. İki aydan daha büyük olmadığı düşünülen beş balık larvası türünde yutma eylemi tespit edilmiştir. FTIR analizi ile tespit edilen mikroplastik türleri naylon, polyester-poliamid kompozit ve sentetik biyoplastiktir. Çalışmadan elde edilen diğer sonuç ise kıyıda uzaklaştıkça düşük miktarda mikroplastik içeren balık larvalarının sayısının artmış olmasıdır. Çalışılan alanlardaki mikroplastiklerin %50'si mavi, %21,5'i siyah, %10'u renksiz ve %9,5'i kırmızı renkli olup, analizi yapılmış polimerlerin yarısından fazlası suni ipek veya suni ipek karışımı karışımdır [80].

Ding ve diğerleri [81], tarafından yapılan bir çalışmada Çin'in Qingdao şehrindeki balık pazarından 1 yıl boyunca alınan deniz tarağı (*Chlamys farreri*), midye (*Mytilus galloprovincialis*), istiridyeye (*Crassostrea gigas*) ve manila istiridyesi (*Ruditapes philippinarum*) örneklerinin sindirim sistemlerindeki mikroplastik varlığı, mikroplastik türleri, mevsimsel olarak ve türler arasında mikroplastik varlığında bir değişim olup olmadığı incelenmiştir. Toplam 290 kabuklu canlıdan 233'ünde mikroplastik tespit edilmiştir. *Ruditapes philippinarum*'da plastikle karşılaşma oranının diğer türlere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Mikroplastiklerin ortalama miktarının 0,3-20,1 öge/g (sindirim sisteminin ıslak ağırlığı) olduğu bildirilmiştir. Lifler %45'lik oranla en baskın tür olmakla beraber diğer türlerin oranları %28 film, %23 parça, %4 granüldür. Kabuklulardan çıkartılan 585 ögenin 505'nin μ -FTIR ile analizi sonunda mikroplastik olduğu tespit edilmiştir. 18 polimer türü doğrulanmış, bunlardan en yaygın olanların PVC ve suni ipek olduğu belirlenmiştir [81].

Kuzeydoğu Atlantik'te Azor takımadalarında yaşayan ticari değeri olan üç pelajik tür (mavi istarvit, kolyoz, skipjack ton balığı) ve iki derin deniz türünden (derin su iskorpiti ve siyah karınlı iskopit) toplam 390 balığın mide ve bağırsak içeriğinin incelendiği çalışma sonunda plastik öge içeren balık oranının %3,7-16,7 arasında değiştiği (tüm türlerde plastik içeren balıkların oranı %9,49 bulunmuş), ortalama plastik mevcudiyetinin balık başına 0,04-0,22 olduğu bulunmuştur. (Bir midede en fazla 4 adet parçacık). Tespit edilen parçacıkların çoğunun 1mm'den daha küçük olduğu bildirilmiştir. Çalışmanın bir diğer önemli sonucu ise pelajik türlerin derin su türlerine göre daha çok mikroplastik içerdiği ve pelajik türlerle derin deniz türlerinde belirlenen polimer türlerinin farklı olduğudur. Pelajik balıklarda tespit edilen baskın polimer türü polietilen iken derin deniz balıklarındaki polimerlerin neredeyse tamamı polipropilendir. Bu çalışmada bulunan mikroplastik miktarı benzer türler üzerine yapılmış diğer araştırmalarla kıyaslandığında daha azdır. Bunun nedeni de Azor takımadasında şehirleşmenin çok olmaması ve düşük nüfus yoğunluğuna sahip olmasıdır [82].

Tayland'ın güney kıyısında aralarında kıyı balıkçılığı bölgesi, balıkçı trolü ve balık pazarından da olduğu çeşitli yerlerden alınmış dört pelajik balık ailesine (*Scombridae Clupeidae*, *Caesionidae*, *Carangidae*) ait yedi tür, derin deniz balığı ailesine (*Leiognathidae*, *Synodontidae*, *Platycephalidae*, *Mulidae*, *Terapontidae*, *Nemipteridae*) ait sekiz tür ve Siganidae ailesine ait toplam 492 balık örneğinde mikroplastik varlığı araştırılmıştır. Çalışma sonuçları derin deniz balıkları ve pelajik balıklar arasında mikroplastik sayısı açısından anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir. 361 derin deniz balığının 28'inin (%7,76) ve 131 pelajik balığın 13'ünün (%9,92) mikroplastik yuttuğu tespit edilmiştir. FT-IR analiziyle tespit edilmiş olan polimer türleri ise poliamid (PA), polietilen (PE) ve polipropilen (PP)'dir. Mikroplastik lifler derin deniz balıklarında %82,76, pelajik balıklarda %57,14 oranla en baskın mikroplastik şekli olup en yaygın polimer türü poliamid olup, en yaygın mikroplastik rengi ise kırmızıdır. Liflerin her iki türün tüm boyutlarında baskın olduğu gözlemlenmiştir. Parçacıkların ise pelajik balıklarda derin deniz balıklarına göre daha yaygın olduğu gözlemlenmiştir. Araştırmacılar bu durumun mikroplastik parçacıkların düz parça şeklinde olması ve düşük yoğunluklarından dolayı su üzerinde daha uzun süre batmadan kalabilmelerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir [83].

Arap Körfezi'nde ticari değeri olan beş kıyı türü, iki pelajik tür ve iki resifle ilişkili türün gastrointestinal sistemlerindeki mikroplastiklerin miktarını ölçmek ve sınıflandırmak için yapılan bir çalışmada, Mart 2018'de yaklaşık 16m derinlikten toplanan 140 balıkta yapılan görsel incelemeler ve FTIR analizi sonucunda, balıkların gastrointestinal sistemlerinde %58,58'i lif, %5,71'i balık misinası ve parçacıklardan oluşan mikroplastikler bulunduğu tespit edilmiştir. Parçacıkların %62'sinin mavi, %25'isinin siyah ve %13'ünün beyaz ve saydam renkte ve ağırlıklı olarak PP ile PE'den oluştuğu belirtilmiştir. Çalışma sonucunda Arap Körfezi'nin yüksek tuzluluğa sahip olması nedeniyle mikroplastiklerin balıkların temas ettikleri bölgenin dışında kalmış olması ihtimalinin olduğu, bu sebeple literatürdeki diğer çalışmalara kıyasla mikroplastik konsantrasyonunun daha düşük çıkmış olabileceği öne sürülmüştür [84].

Türk deniz sularında yaşayan balıklardaki mikroplastik konsantrasyonunu belirlemek için Haziran - Temmuz 2019 tarihleri arasında, Akdeniz, Ege ve Marmara Denizi'nden toplanan 5 türe ait 243 adet balığın gastrointestinal sistemlerinin incelendiği çalışmada balık başına düşen ortalama konsantrasyon 1,1 MP olarak tespit edilmiştir. Ege Denizi'nden toplanmış *Chelon saliens*'te balık başına 4,3 MP ile en yüksek konsantrasyongörülürken en düşük konsantrasyon %26,7 ile *Trachurus mediterraneus*'te bulunmuştur. Ege Denizi'nden örneklenen balıkların %61,6'sında Marmara Denizi'ndeki balıkların %40,5'inde ve Kuzeydoğu Akdeniz'deki balıkların %39,2'sinde mikroplastik tespit edilmiştir. Araştırmacıların gözlemledikleri mikroplastiklerin %50,6'sı lif, geri kalan %49,4'ü ise parçacıklardan oluşmuştur. Rastgele seçilen parçacıkların μ -FTIR analizi sonucunda 11 farklı polimer türü belirlenmiş olup en çok tespit edilenlerin %26 PP, %21,9 PE ve %8,2 selüloz olduğu bildirilmiştir. Çalışma sonucunda Akdeniz havzası, Ege Denizi, Marmara Denizi ve İskenderun Körfezi'nin mikroplastikler tarafından kirletildiği ve canlı yaşamını tehdit ettiği kanıtlanmıştır [85].

Deniz memelileri, deniz kaplumbağaları ve balıklarda plastiğin küresel durumunu ve plastik yutulmasını incelemek için kullanılan metodolojilerin derlenmesini amaçlayan bir başka çalışmada deniz kaplumbağalarının %83,33'ünün gastrointestinal incelemesinde yaygın plastik renginin beyaz (%66,6), en yaygın polimer şeklinin lif (%54,54), en yaygın polimer türünün ise LDPE (%39,09) olduğu belirlenmiştir. Ortalama birey başına düşen öge sayısı 15,79 bulunmuştur. Balıklarda (demersal, pelajik, bentopelajik) yapılmış gastrointestinal sistem örneklemeinde en çok renksiz plastikler (%45,97), lifler (%66,71) ve polylester (%36,20) bulunmuş olup birey başına düşen plastik miktarı 2,89 adettir. Deniz memelilerinde ise beyaz renkli plastikler en yaygın renk (%38,31) olup en yaygın polimer şekli lif (%79,95) ve en yaygın polimer türü PA (%49,60)'dır. Bu çalışma Pasifik, Atlantik ve Akdeniz'de yer alan tüm canlı gruplarının plastik yuttuğunu ortaya koymaktadır. Araştırmacılar Pasifik Okyanusu'ndaki bireylerin en çok mikroplastik konsantrasyonuna sahip olduğunu bunun nedeninin ise Asya kıtasındaki plastik üretiminin önemli ölçüde fazla olması olduğunu belirtmişlerdir [87].

Deniz kuşları geniş göç yolları ve beslenme şekillerine sahip olmaları nedeniyle gelecek otuz yıl içinde neredeyse hepsinin mikro ve makroplastiklerden etkileneceği tahmin edilmektedir [88,89]. Bessa F. Ve diğerleri (2019), Antartika'da yaşayan gentoo penguenlerinde mikroplastik birikimini incelemek ve tespit edilen mikroplastikleri tanımlamak, karakterize etmek ve mikroplastiklerin kaynağının ne olduğunu belirlemek için penguen scatlarında (dışkı) mikroplastik varlığını araştırmışlardır. Antartika'nın Kuş Adası'ndan 50 ve Signy Adası'ndan 30 olmak üzere toplam 80 tane scat toplamışlardır. FT-IR ile doğrulanmış numunelerde scat başına yaklaşık 19 mikroplastik düştüğü, her iki adadan gelen örneklerde en sık bulunan polimer şeklinin mikrolifler (%58), parçalar (%26) ve filmler (%16) olduğu bildirilmiştir. Ortalama uzunluk ise $1266 \pm 1378 \mu\text{m}$ olarak tespit edilmiştir. Liflerin bu kadar çok olma sebebinin çamaşır yıkama sırasında kopan liflerden ve balıkçılık malzemelerinden kaynaklı olduğu tahmin edilmiştir. Bu çalışma, Antartika'daki penguenlerin gastrointestinal kanalında mikroplastiklerin mevcut olduğunu ve bunun sonucunda bölgedeki besin ağında da mikroplastik parçacıkların yaygın olduğunu göstermiştir [58].

Bourdages ve diğerleri [90], deniz kuşlarının kara ortamına mikroplastiklerin geçişinde vektör olabileceği sorusuna yanıt aramak ve kuşlardaki mikroplastik konsantrasyonunu ölçmek için iki arktik deniz kuşu olan kuzey fulmarı (*Fulmarus glacialis*) ve kalın gagalı murre (*Uria lomvia*) ile bir araştırma yapmışlardır. Kanada'da bulunan Qaulluit Adası'ndaki Fulmarus glacialis kolonisinden 27 ve Akpait Ulusal Vahşi Yaşam Alanında yaşayan Uria lomvia kolonisinden 30 türün hem gastrointestinal sistemleri hem de guano (bir çeşit dışkıdan oluşan madde) örnekleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda fulmar örneklerinde 46, murre örneklerinde 15 olmak üzere toplam 61 parçacık (34'ü antropojenik kaynaklı) tespit edilmiştir. Her iki türün örneklerinde lif ve mavi renkli mikroplastiklerin çoğunlukta olduğu bildirilmiştir. Murre örneklerinde fulmarlardan farklı olarak sarı renkli parçacıklar da bulunmuştur. Araştırmacılar inceledikleri kuş kolonilerinin yaşam alanlarında yaklaşık $3,3 \times 106$ ve $45,5 \times 106$ adet parçacığın bulunabileceğini hesaplamıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda kuşların mikroplastiklerin taşınımında vektör olabileceklerini belirtmişlerdir [90].

Bilim insanlarının günümüzde martı türlerinin şehirlerden ve çöp depolama sahalarından daha sık beslenmeleri ve insanlarla sıkı etkileşimde bulunmalarından dolayı plastik malzemelere daha fazla maruz kaldığını düşünmektedir [90]. Stewart ve diğ. (2020), bu konuyu araştırmak için Avustralya'da bulunan Tamar Adası Sulakalanı'nda Mayıs 2018 – Ocak 2020 tarihleri arasında martılara ait 374 bolusu incelemişlerdir. Çalışma sonucunda bolusların (çiğnenmiş yiyecek kütlesi) %86,63'ünde plastik tespit edilmiş, en yaygın renk %75,94 oran ile beyaz ya da şeffaf, %30,45 oran ile siyah olmuştur. En çok karşılaşılan şekil %68,1 oran ile levha şeklindeki düz plastik parçacıklardır. Plastiklerin miktarında ve renk dağılımında mevsimsel olarak değişkenlik gözlemlenmemiştir. İncelenen boluslarda, tek kullanımlık plastik, ambalaj, diş ipi, kişisel hijyen ürünleri gibi plastik malzemeler dışında antropojenik kaynaklı metal ve cam parçalarının da bulunduğu görülmüştür. Bu durum örnekleme alanında yaşayan martıların ağırlıklı olarak yakınlardaki çöp depolama sahasından beslendiklerini doğrulamıştır. Bir diğer önemli çıkarım ise, martı boluslarının bozunmasıyla mikroplastiklerin ve diğer kirleticilerin Tamar nehrine karışma ihtimalinin olmasıdır [92].

Deniz kuşlarının yutmuş oldukları mikroplastik ve ultra ince plastik partikül miktarını belirlemek amacıyla 2017- 2018 yıllarında Avustralya'da toplanmış 57 adet Pembeayaklı Yelkovan (*Ardena carneipes*)'da plastik kirliliği incelenmiştir. Deniz kuşlarının taşıklarında sert plastik olduğu tahmin edilen 217 adet mikroplastik, 129 adet makroplastik ve 13 adet ultra ince partikül tespit edilmiştir [95].

Özellikle kumsal gibi çevresel ortama karışmış mikroplastiklerin, deniz kaplumbağaları gibi üremek için kumsalları tercih eden canlıların üreme kabiliyetlerine ve sağlıklı yavru birey oluşturma sayılarına etkisini belirlemek amacıyla 2017 yılında Kuzey Meksika Körfezi'nde bulunan 10 yuvalama bölgesindeki kumda

mikroplastik varlığı araştırılmıştır. İncelenen tüm yuvalama bölgelerinde batı sahillerinden doğu sahillerine doğru mikroplastik dağılımında bir azalma olduğu ve toplamda 32 adet parçacığın yer aldığı tespit edilmiştir. Bunlar arasında %43,8 ile sert plastikler en çok rastlanan tür %18,8 ile beyaz ve turuncu en sık rastlanan renk olmuştur. 10 yuvalama alanında ölçülen toplam ortalama mikroplastik kütlesi $0,003225 \pm 0,0058$ g'dır [59].

Yeşil deniz kaplumbağası (*Chelonia mydas*), *Caretta caretta*, ridley deniz kaplumbağası (*Lepidochelys olivacea*), şahin gagalı deniz kaplumbağası (*Eretmochelys imbricate*) düz sırtlı deniz kaplumbağası (*Natator depressus*) ve deri sırtlı deniz kaplumbağası (*Dermochelys coriacea*) türlerini içeren 144 vahşi deniz kaplumbağasının incelendiği çalışmada bu canlıların gastrointestinal sistemlerinde birey başına 2,5 ila 12,5 parçacık bulunduğu belirlenmiştir. Ağırlıklı olarak liflerden ve parçacıklardan oluşan mikroplastiklerden en yaygın renklerin mavi, siyah, renksiz ve beyaz parçacıklar olduğu tespit edilmiştir. Parçacık boyutu ise ortalama 1,4 mm - 4,7 mm arasında bulunmuştur [97].

Mikroplastiklerin deniz kaplumbağaları üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla 2019 yılında İtalya'nın Molise Bölgesi'nin Adriyatik kıyılarında ölmüş veya mahsur kalmış 28 deniz kaplumbağasının (*Caretta caretta*) 8'ine otopsi yapılmıştır. Birey başına ortalama 4,75 parçacık düştüğü ayrıca 19 farklı polimer türünden oluşan ağırlıklı olarak mavi (%86), siyah (%10-32) ve şeffaf (%4-22) renklerde toplam 623 mikroplastik bulunduğu tespit edilmiştir. En yüksek oranda gözlemlenen polimer tipleri polyster (PL), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polipropilen (PP)dir. Ayrıca genç ve yaşlı kaplumbağalarda tespit edilen baskın polimer türlerinin birbirinden farklılık gösterdiği bildirilmiştir. İncelenmiş olan yağ ve karaciğer örneklerinde de BPA (phenylethane boronik asit) ve PTA (tereftalik asit) gözlemlenmiş olup 1,383 mg/kg polikarbonat (PC) ve 59,95 mg/kg polietilen tereftalat (PET) hesaplanmıştır [98].

İngiltere'de küçük benekli kedi köpek balığı (*Scyliorhinus canicula*), dikenli köpek balığı (*Squalus acanthias*), yıldızlı düz tazi (*Mustelus asterias*) ve boz lekeli kedi balığı (*Scyliorhinus stellaris*) olmak üzere 4 dermersal köpek balığı türünden 46 bireyin mide ve sindirim yollarının incelendiği çalışmada, köpekbalıklarının %67'sinde en az bir adet parçacık bulunmuş ayrıca analize dahil edilmemiş makroplastik parçacıkların da var olduğu bildirilmiştir. Tespit edilen liflerin çoğunluğunun mavi ve siyah renkli poliakrilamid, polyster ve olefin polipropilen polimerlerinden oluştuğunu gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçları dermersal köpek balığı türlerinde diğer deniz canlılarına oranla daha az mikroplastik seviyeleri gözlemlenmiş olsa mikroplastiklerin denizlerde her yerde bulunduğu düşüncesini desteklemiştir [99].

Akdeniz'de geniş bir yaşam alanına sahip küçük benekli kedi köpekbalığındaki (*Scyliorhinus canicula*) mikroplastik maruziyetinin boyutunu ve etkisini araştırmak için 2018 yılında İtalya'nın güney sularından toplanan 100 adet köpek balığından seçilen 50 örneğin gastrointestinal sisteminin görsel olarak incelenmesi sonucunda, örneklerin yaklaşık %80'inde PET (%51), PA (%25), PAC (%13), PP (%6) ve PAN (%4) polimerlerinden oluşan lif ve parça şeklinde 118 adet mikroplastik bulunmuştur. Mikroplastiklerin %63,8'inin koyu renkli, %21,7'sinin açık renkli ve %14,5'inin renksiz olduğunu belirtilmiştir [100].

Tehlike altında bir tür olan dikburun karkaryas köpekbalığı (*Lamna nasus*) tarafından yutulan ve bu hayvanları bağırsaklarında bulunan mikroplastiklerin araştırılması, kirleticilerle köpekbalıklarının genel sağlık durumları arasında bir ilişki olup olmadığının belirlenmesi ve mikroplastiklerin analizi için uygun yöntem geliştirilmesi amacıyla yürütülen bir çalışmada, Ağustos-Ekim 2014 tarihleri arasında incelenmiş 53 adet köpekbalığından parça (%65,9), lif (%32,9), küre (%0,9) ve film (%0,5) şeklinde 878 adet mikroplastik çıkartılmıştır. En sık karşılaşılan renklerin mavi (%44,8), siyah (%23,7), kırmızı (%9,6) ve şeffaf (%6,5) olduğu bildirilmiştir. Mikroplastikler ile köpekbalıklarının genel sağlık durumları arasında anlamlı bir korelasyon olmadığı fakat bağırsakta tespit edilen mikroplastiklerin yutulup sindirilmiş olduğu, dolayısı ile dikburun karkaryas köpekbalıkları için potansiyel bir tehlike oluşturabileceği sonucuna varılmıştır [60].

İnsan faaliyetlerinden kaynaklı olarak deniz canlılarında oluşan stresin ve deniz ekosisteminin sağlık göstergelerinin belirlenmesi için deniz memelilerinin indikatör tür olarak belirlenmesi ve gözlemlenmesi oldukça uygun bir yöntem olabilmektedir [62,100]. Memelilerin besin zincirinin üst basamaklarında ve uzun ömürlü olmaları nedeniyle mikroplastiklerin insanları nasıl etkileyeceğine dair fikir verebilmektedir [102]. Memelilerde belirlenen mikroplastiklerle ilgili çalışmaların artışı kamuoyunda bu konu üzerindeki farkındalığı arttıracaktır.

2005-2010 yılları arasında İspanya'nın İber Yarımadası'nda karaya vurmuş, *Delphinus delphis* yunus türüne ait 35 adet mide içeriği araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Tüm mide örneklerinde mikroplastiklerin bulunduğu ve her bir midede ortalama 12 adet mikroplastığın yer aldığı bildirilmiştir. Şekilsel olarak %96,59 lif,

%3,16 parça (levha), %0,24 küresel olmak üzere toplam 411 adet mikroplastik çıkartılmıştır. En yaygın renklerin ise siyah ve mavi olduğu belirtilmiştir [103].

Almanya Federal Çevre Ajansı'nın yürüttüğü bir proje çerçevesinde, deniz memelilerinden alınan bağırsak örneklerinde mikroplastiklerin saptanması ve ikincil kontaminasyonun belirlenmesi amacıyla Kuzey Denizi'nin Almanya karasularında ve Baltık Denizi'nde yaşayan liman fokları (*Phoca vitulina*) ve gri fokların (*Halichoerus grypus*) gastrointestinal yollarını incelemek için 10 bağırsak ve Lorenzenplate kumsalından toplanmış 9 dışkı örneği analiz edilmiştir. Potansiyel mikroplastikler önce floresans mikroskobu ile görsel olarak değerlendirilmiş, daha sonra μ Raman spektroskopisi ile tanımlama yapıp 19 örnekte 110 μm 'den büyük 255 adet parçacık (70 lif ve 185 parça) bulunduğu ve ağırlıklı polimer türünün PE, PET ve PP olduğutespit edilmiştir [105].

Peru ve Şili kıyı şeridinde deniz aslanı familyasına ait üç türün yaşadığı 6 noktada invazif olmayan tekniklerle mikroplastik konsantrasyonunu tespit etmek için bir çalışma yapılmıştır. Örnekler toplanmış, mikroskopla incelenmiş ve ardından FTIR analizi yapılmıştır. İncelenen tüm alanlarda ağırlıklı olarak liflerle birlikte parçacıklardan oluşan mikroplastikler tespit edilmiştir. Punta Chaiguaco'daki örneklerin neredeyse hepsi liflerden oluşurken mikroplastik parçalarda en yüksek oran %14 ile Punta San Juan'da tespit edilmiştir. FTIR ile analiz edilmiş parçacıkların antopojenik kaynaklı polimerler, pamuk ve selülozden oluştuğu belirtilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda deniz ekosistemine karışan mikroplastiklerin bir tehdit oluşturduğuna ve yüksek trofik seviyeli taksonlarda scatlar üzerine yapılmış analizlerin etkili bir yöntem olduğu konularına dikkat çekilmiştir [106].

İngiltere'de tamamı kıyıya oturmuş 10 vahşi deniz memelisi türüne ait 50 hayvanın gastrointestinal sistemleri incelenerek mikroplastik varlığı araştırılmıştır. Hayvan başına düşen ortalama parçacık sayısı 5,5 olup, toplam çıkartılan 273 parçacığın %84'ü liflerden, %16'sının ise parçacıklardan oluşmuştur. İncelenen midelerin bağırsaklara kıyasla daha çok mikroplastik içerdiği görülmüştür. Çıkarılan parçacıkların renklerine göre dağılımı ise %42,5 siyah, %26,4 mavi, %12,8 renksiz, %11 kırmızı, %2,9 yeşil, %1,5 turuncu ve sarı, geri kalanları ise beyaz ya da çok renkli şeklindedir. Araştırmacılar FTIR analizinin sonucunda 273 parçacığın naylon, polietilen tereftalat, polyester, polietilen, polipropilen, suni ipek, poliamid içeren reçine ve LDPE'den oluştuğunu bulmuşlardır. Ayrıca incelenen hayvanlarda ölüm nedeni ile mikroplastik bolluğu arasında bir ilişki olduğunu, enfeksiyöz hastalıklar nedeniyle ölen hayvanlarda daha fazla mikroplastik tespit edildiğini, bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılmıştır [107].

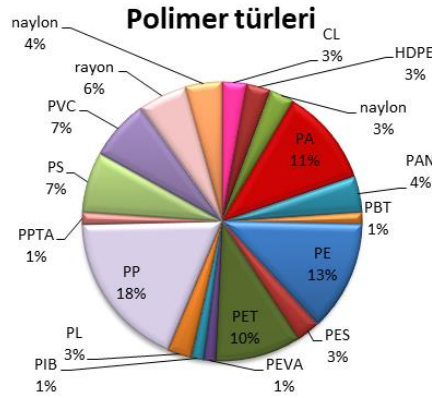
V.SONUÇLAR

Çeşitli amaçlar doğrultusunda üretilen plastiklerin sürdürülebilirlik çerçevesinin dışında kalması ve yanlış atık yönetimi gibi sebepler nedeniyle çevresel ortama karışması ve ardından canlı bünyesine geçebildiği pek çok çalışmada ortaya konulmuştur. Devam eden Covid-19 pandemisi nedeniyle cerrahi maske, eldiven ve koruyucu önlük gibi ekipmanların kullanımındaki artışın mevcut plastik kirliliğine tesir edeceği kaçınılmazdır. Gelecek çalışmalarda bu durum göz önüne alındığında deniz ekosistemine karışacağı tahmin edilen mikroplastik konsantrasyonunu belirlemek için modellemeler üzerine çalışılabilir, elde edilecek sonuçlar doğrultusunda kişisel koruyucu ekipmanların üretiminde daha çevre dostu hammadde kullanımı teşvik edilebilir. Diğer bir yandan sucul ortama geçişlerde en önemli faktörlerden birisi olan atıksu arıtma tesislerinde arıtma verimlerinin artırılması önem arz etmektedir.

İncelenen makalelerde mavi ve kırmızı renkli plastik parçacıkların yaygın şekilde gözlemlendiği (Şekil 5.) ancak renk skalasında ayrı şekilde sınıflandırılmış beyaz ve şeffaf renkler beraber değerlendirildiğinde açık renkli mikroplastiklerin daha baskın olduğu görülmektedir. Polipropilen (PP), polietilen (PE) ve poliamidin (PA) en baskın polimer türleri olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.). Bu polimerler özellikle kuşlar ve balıklar başta olmak üzere deniz ekosistemine bağlı tüm canlılarda gözlemlenmiştir (Tablo.1). Canlı sınıfına göre polimer türlerindeki farklılık canlıların gelişmişlik düzeyine, deniz habitatında yaşamını sürdürdüğü bölgeye, besin zincirinde av veya avcı oluşuna, plastik parçacıkların özgül ağırlığına ve sahip olduğu renk gibi özelliklere bağlı olduğu düşünülmektedir. Mercan, yumuşakça ve derisidikenli gibi deniz tabanında yaşayan canlılarda tespit edilmiş selüloz ve rayon gibi alışılagelmiş polimerlerden farklı selülozik yapılar gözlemlenmiş olması bu ve benzer doğal selülozik maddelerin mikroplastik olarak değerlendirilip değerlendirilmeyeceği konusunu da gündeme getirmiştir. Mikroplastiklerin canlılarda meydana getirebileceği birincil etkilerin yanında parçacıkların üzerine transfer olmuş ağır metaller, endokrin bozucu kirlenmeler ve farklı ortamlardan taşınmış biyolojik tehditler de dikkate değer unsurlardır.



Şekil 5. Elde edilen sonuçlarda mikroplastiklerin renk dağılımı



Şekil 6. Elde edilen sonuçlarda mikroplastiklerin polimer türleri

Literatürde yer alan çalışmalarda canlılardaki mikroplastik tespiti için çalışılan bölge genellikle sindirim sistemi ya da dışkı olduğu görülmüştür. Ancak Feng ve diğerleri [78] yapmış olduğu çalışmada hayvanın üreme organında da mikroplastikleri tespit etmişlerdir [78]. Martinelli ve diğerleri [77] ise mikroplastikleri sindirim sistemi dışında kas dokusunda da gözlemlemişlerdir [77].

Mikroplastik tespitinde görsel tayinin yanında polimer türlerinin tespit edilmesi kirleticinin kaynağının belirlenmesi, kaynağında azaltılması ve kritik öneme sahip bölgelerde kullanımının kısıtlanması gibi çeşitli önlemlerin alınması hususunda önem arz etmektedir.

Mikroplastikler ve özellikle nanoplastikler bilim dünyası için yeni bir konu olduğundan canlılardaki mikroplastik tespitinde kullanılan yöntemler tam anlamıyla standartlaştırılmamıştır. Deniz organizmalarında gelişmişlik seviyesi arttıkça mikroplastik maruziyetinin insan vücudunda yaratacağı etkileri konusunda daha net yaklaşımlar yapılabilir ve diğer yandan gelişmişlik seviyesinin artması gerek yeterli örnek sayısına ulaşmada gerekse uygulanan yöntem sırasında numunenin işlenmesi yönünde çeşitli zorlukları meydana getirebilir.

Yapılan bu derleme çalışmanın sonuçlarında deniz ortamından elde edilmiş veriler ve deniz canlılarında tespit edilmiş mikroplastik verileri birlikte değerlendirildiğinde mavi, siyah, kırmızı, beyaz renkli ve özellikle lif şeklindeki parçacıklar tespit edilmiş olup en sık gözlemlenmiş polimer türleri PP (%18), PE (%13), PA (%11) ve PET (%10) olmuştur. Tespit edilen polimer ve parçacık rengi canlı sınıflarında farklılıklar göstermiştir.

Tablo 1. Çalışmanın tablo özeti

Çalışma Alanı	Örnek Sayısı	Parçacık Şekli	Parçacık Rengi	Polimer Türü	Görsel İnceleme	FTIR Analizi	Referans	Çalışma Alanı	Örnek Sayısı	Parçacık Şekli	Parçacık Rengi	Polimer Türü	Görsel İnceleme	FTIR Analizi	Referans	
Deniz suyu	57	Lif	Mavi, beyz	Sentetik boyalı PE	Var	Var	[50]	Kuş	387	Parça	Beyaz, sarı	-	Var	Var	[52]	
	6	Parça, levha	Beyaz, siyah	PE, PP	Yok	Var	[5]		398	Lif, kire	-	-	PE, PP	Yok	Var	[54]
	374	Film	Beyaz, siyah	-	Yok	Var	[55]		26	Lif	-	-	PL, PA	Yok	Var	[56]
	140	Lif, parça	Mavi, siyah	PE, PP	Yok	Var	[37]		68	Lif	Mavi, şeffaf	Mavi, siyah	PE, PET	Yok	Var	[37]
	243	Lif, parça	-	PP, PE	Var	Yok	[66]		960	Lif	Siyah, kırmızı	-	Naylon, PL, rayon	Var	Var	[79]
	52	Lif	Beyaz	PE	Yok	Var	[21]		347	Lif	Mavi	-	LDPE, PE, PP	Yok	Var	[67]
Plankton	44	Lif	Beyaz, şeffaf	-	Yok	Var	[68]	152	Lif, parça	Mavi, siyah	Mavi, siyah	Selofan	Var	Var	[69]	
	46	Lif	Mavi-siyah	PA	Var	Var	[70]	32	Film, parça	Mavi, siyah	Mavi, siyah	PS, PP	Var	Var	[71]	
	492	Lif	Kırmızı	PS, PE	Var	Var	[68]	114	Lif	Beyaz, kırmızı	Beyaz, mavi	Rayon, cam elyaflı	Var	Var	[70]	
	50	Lif	Koyu renkli	PET, PA	Var	Var	[69]	60	Parça, lif	Beyaz, mavi	Beyaz, mavi	PET, PE	Yok	Var	[70]	
Yunuskuca	46	Lif	Mavi, siyah	PA, PL	Var	Var	[70]	72	Lif, parça	Siyah, gri, mavii	Siyah, gri, mavii	Selofan, akrilik	Var	Var	[71]	
	53	Parça, lif	Mavi, siyah	-	Var	Var	[80]	290	Lif, film	Mavi, siyah	Mavi, siyah	PVC, rayon	Yok	Var	[80]	
	50	-	Koyu renkli	PET, PA	Var	Var	[80]	342	Parça, lif	-	-	PET, PP	Yok	Var	[75]	
	36	Lif	Beyaz	LDPE	Var	Var	[75]	100	Parça, lif	Mavi, siyah	Mavi, siyah	-	Var	Yok	[74]	
Kabuklu	144	Lif, parça	Mavi, yeşil	-	Var	Yok	[74]	23	Lif	-	-	PCV	Yok	Var	[76]	
	28	Lif	Mavi, siyah	PL	Yok	Var	[76]	180	Parça, lif	Beyaz, mavi	Beyaz, mavi	PS, PP	Yok	Var	[73]	
	35	Lif	Siyah, mavi	-	Var	Var	[73]	8	Lif	Mavi, şeffaf	-	-	Var	Yok	[78]	
Derisidkenli	3	Lif	-	PA, PBT	Var	Yok	[78]	210	Lif, parça	Mavi, siyah	Mavi, siyah	Selofan, PET	Var	Var	[77]	
	19	Lif, parça	-	PE, PET	Var	Var	[77]	80	Parça, lif	-	-	Rayon, poliakrilonitril	Yok	Var	[58]	
Kuş	50	Lif, parça	Mavi, kırmızı	Naylon, PET	Var	Var	[58]									

KAYNAKLAR

- [1] Hidalgo-Ruz, V. Gutow, L. Thompson R. C. ve Thiel, M. (2012). Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification, *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060-3075.
- [2] Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment, *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1605.
- [3] PlasticsEurope. (2021). Plastics- the Facts (2021). 01 13. 2022 tarihinde <https://plasticseurope.org/>: <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/Plastics-the-Facts-2021-web-final.pdf>.
- [4] do Sul J. A. I. ve Monica, F. C. (2014). The present and future of microplastic pollution in the marine environment, *Environmental Pollution*, 185, 352-364.
- [5] Woodall, L. C. Sanchez-Vidal, A. Canals, M. Paterson, G. L. J. Coppock, R. Sleight, V. Calafat, A. Rogers, A. D. Narayanaswamy B. E. ve Thompson, R. C. (2014). The deep sea is a major sink for microplastic debris, *Royal Society Open Science*, 1(4), 140317.
- [6] Geyer, R. Jambeck J. R. ve Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made, *Science advances*, 3(7), e1700782.
- [7] Sobhani, Z. Lei, Y. Tang, Y. Wu, L. Zhang, X. Naidu, R. Megharaj M. ve Fang, C. (2020). Microplastics generated when opening plastic packaging, *Scientific Reports*, 10(1), 1-7.
- [8] De-la-Torre, G. E. Rakib, M. R. J. Pizarro-Ortega C. I. ve Dioses-Salinas, D. C. (2021) .Occurrence of personal protective equipment (PPE) associated with the COVID-19 pandemic along the coast of Lima, Peru, *Social of the Total Environment*, 774, 145774.
- [9] Ma, J. Chen, F. Xu, H. Jiang, H. Liu, J. Li, P. Chen C. C. ve Pan, K. (2021). Face masks as a source of nanoplastics and microplastics in the environment: Quantification, characterization, and potential for bioaccumulation, *Environmental Pollution*, 288, 117748.
- [10] Akdoğan Z. ve Güven, B. (2019) .Microplastics in the environment: A critical review of current, *Environmental Pollution*, 254, 113011.
- [11] Miller, E. Sedlak, M. Lin, D. Box, C. Holleman, C. Rochman C. M. ve Sutton, R. (2021). Recommended best practices for collecting, analyzing, and reporting microplastics in environmental media: Lessons learned from comprehensive monitoring of San Francisco Bay, *Journal of Hazardous Materials*, 409, 124770.
- [12] Cole, M. Lindeque, P. Halsband C. ve Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review, *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597.
- [13] Horton, A. A. Walton, A. Spurgeon, D. J. Lahive E. ve Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities, *Science of the Total Environment*, 586, 127-141.
- [14] Yurtsever, M. (2019). Nano-ve mikroplastik'lerin insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki olası etkileri, *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 5(2), 17-24.
- [15] Kentin E. ve Kaarto, H. (2018). An EU ban on microplastics in cosmetic products and the right to regulate, *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 27(3), 254-266.
- [16] European Chemicals Agency. (2019). ANNEX XV Restriction Report Proposal For A Restriction. Helsinki: European Chemicals Agency.
- [17] O'Brien, S. Okoffo, E. D. O'Brien, J. W. Ribeiro, F. Wang, X. Wright, S. L. Samanipour, S. Rauert, C. Toapanta, T. Albarracin R. ve Thomas, K. (2020). Airborne emissions of microplastic fibres from domestic laundry dryers, *Science of The Total Environment*, 747, 141175.
- [18] Science Advice for Policy by European Academies. (2019). A scientific perspective on microplastics in nature and society. Brussels: Science Advice for Policy by European Academies.

- [19] Browne, M., A. Crump, P. Niven, S. J. Teuten, E. Tonkin, A. Galloway T. ve Thompson, R. (2011). Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks, *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175-9179.
- [20] Belzagui, F. Buscio, V. Gutiérrez-Bouzán C. ve Vilaseca, M. (2021). Cigarette butts as a microfiber source with a microplastic level of concern, *Science of the Total Environment*, 762, 144165.
- [21] Frias, J. Otero V. ve Sobral, P. (2014). Evidence of microplastics in samples of zooplankton from Portuguese coastal waters, *Marine Environmental Research*, 95, 89-95.
- [22] Dris, R. Gasperi, J. Saad, Mirande M. C. ve Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment?, *Marine Pollution Bulletin*, 104(1-2), 290-293.
- [23] Can-Güven, E. (2021). Microplastics as emerging atmospheric pollutants: a review, *Air Quality, Atmosphere & Health*, 14(2), 203-2015.
- [24] Eerkes-Medrano, D. Thompson, R. C. ve Aldridge, D. C. (2015). Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs, *Water Research*, 75, 63-82.
- [25] Klein, S. Worch E. ve Knepper, T. P. (2015). Occurrence and Spatial Distribution of Microplastics in River Shore Sediments of the Rhine-Main Area in Germany, *Environmental Science & Technology*, 49(10), 6070-6076.
- [26] Eriksen, M. Mason, S. Wilson, S. Box, C. Zellers, A. Edwards, W. Farley H. ve Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes, *Marine Pollution Bulletin*, 77(1-2), 177-182.
- [27] González-Pleiter, M. Edo, C. Velázquez, D. Casero-Chamorro, M. C. Leganés, F. Quesada, A. Fernández-Piñas F. ve Rosal, R. (2020). First detection of microplastics in the freshwater of an Antarctic Specially Protected Area, *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111811.
- [28] Lusher, A. L. Tirelli, V. O'Connor I. ve Officer, R. (2015). Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples, *Scientific Reports*, 5(1), 1-9.
- [29] Sun, J. Dai, X. Wang, Q. van Loosdrecht M. C. ve Ni, B.-J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal, *Water Research*, 152, 21-37.
- [30] Li, X. Chen, L. Mei, Q. Dong, B. Dai, X. Ding G. ve Zeng, E. Y. (2018). Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China, *Water Research*, 142, 75-85.
- [31] He, P. Chen, L. Shao, L. Zhang, H. ve Lü, F. (2019). Municipal solid waste (MSW) landfill: A source of microplastics? -Evidence of microplastics in landfill leachate, *Water Research*, 159, 38-45.
- [32] Maghsodian, Z. Sanati, A. M. Ramavandi, B. Ghasemi, A. ve Sorial, G. A. (2020). Microplastics accumulation in sediments and *Periophthalmus waltoni* fish, mangrove forests in southern Iran, *Chemosphere*, 264, 128543.
- [33] Amelia, T. S. M. Khalik, W. M. A. W. M. Ong, M. C. Shao, Y. T. Pan, H.-J. ve Bhubalan, K. (2021). Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans, *Progress In Earth and Planetary Science*, 8(1), 1-26.
- [34] Carpenter E. J. ve Smith Jr., K. L., (1972). Plastics on the Sargasso Sea Surface, *Science*, 175(4027), 1240-1241.
- [35] Torres, F. G. Dioses-Salinas D. C. Pizarro-Ortega, C. Í. ve De-La-Torre, G. E. (2020). Sorption of chemical contaminants on degradable and nondegradable microplastics: Recent progress and research trends, *Science of the Total Environment*, 757, 143875.
- [36] Tanaka, K. Takada, H. Yamashita R. Mizukawa, K. Fukuwaka, M.-a. ve Watanuki Y. (2015). Facilitated leaching of additive-derived PBDEs from plastic by seabirds' stomach oil and accumulation in tissues, *Environmental Science & Technology*, 49(19), 11799-11807.

- [37] Collard, F. Husum, K. Eppe, G. Malherbe, C. Hallanger, I. G. Divine, D. V. ve Gabrielsen, G. W. (2021). Anthropogenic particles in sediment from an Arctic fjord, *Science of the Total Environment*, 772, 145575.
- [38] Murphy, F. Ewins, C. Carbonnier, F. ve Quinn, B. (2016). Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment, *Environmental Science & Technology*, 50(11), 5800-5808.
- [39] McCormick, A. Hoellein, T. J. Mason, S. A. Schluep, J. ve Kelly, J. J. (2014). Microplastic is an Abundant and Distinct Microbial Habitat in an Urban River, *Environmental Science & Technology*, 48(20), 11863-11871.
- [40] Blair, R. M. Waldron, S. ve Gauchotte-Lindsay, C. Average daily flow of microplastics through a tertiary wastewater treatment plant over a ten-month period, *Water Reserch*, cilt 163, p. 114909, 2019.
- [41] Carr, S. A. Liu, J. ve Tesoro, A. G. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants, *Water Reserch*, 91, 174-182.
- [42] Raju, S. Carbery, M. Kuttykattil, A. . Senthirajah, K. Lundmark, A. Rogers, Z. . SCB, S. Evans, G. ve Palanisami, T. (2020). Improved methodology to determine the fate and transport of microplastics in a secondary wastewater treatment plant, *Water Reserch*, 173, 115549.
- [43] Franco, A. A. Arellano, J. M. Albendín, G. Rodríguez-Barroso, R. Quiroga, J. M. ve Coello, M. D. (2021). Microplastic pollution in wastewater treatment plants in the city of Cádiz: Abundance, removal efficiency and presence in receiving water body, *Science of the Total Environment*, 776, 145795.
- [44] Chae, Y. ve An, Y.-J. (2018). Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: A review, *Environmental Pollution*, 240, 387-395.
- [45] Golwala, H. Zhang, X. Iskander, S. M. ve Smith, A. L. (2021). Solid waste: An overlooked source of microplastics to the environment, *Science of the Total Environment*, 769, 144581.
- [46] Liu, K. Wang, X. Fang, T. Xu, P. Zhu, L. ve Li, D. (2019). Source and potential risk assessment of suspended atmospheric microplastics in Shanghai, *Science of the Total Environment*, 675, 462-471.
- [47] Collins, C. ve Hermes, J. (2019). Modelling the accumulation and transport of floating marine micro-plastics around South Africa, *Marine Pollution Bulletin*, 139, 46-58.
- [48] Thiele, C. J. Hudson, M. D. Russell, A. E. Saluveer, M. ve Sidaoui-Haddad, G. (2021). Microplastics in fish and fishmeal: an emerging environmental challenge? *Scientific reports*, 11(1), 1-12.
- [49] Wright, S. L. Thompson, R. C. ve Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review, *Environmental Pollution*, 178, 483-492.
- [50] Courtene-Jones, W. Quinn, B. Gary, S. F. Mogg, A. O. ve Narayanaswamy, B. E. (2017). Microplastic pollution identified in deep-sea water and ingested by benthic invertebrates in the Rockall Trough, North Atlantic Ocean, *Environmental Pollution*, 231, 271-280.
- [51] Schmid, C. Cozzarini, L. ve Zambello, E. (2021). A critical review on marine litter in the Adriatic Sea: Focus on plastic pollution, *Environmental Pollution*, 273, 116430.
- [52] Pojar, L. Stănică, A. Stock, F. Kochleus, C. Schultz, M. ve Bradley, C. (2021). Sedimentary microplastic concentrations from the Romanian Danube River to the Black Sea, *Scientific Reports*, 11(1), 1-9.
- [53] Russell, M. ve Webster, L. (2021). Microplastics in sea surface waters around Scotland, *Marine Pollution Bulletin*, 166, 112210.
- [54] Garnier, Y. Jacob, H. Guerra, A. S. Bertucci, F. ve Lecchini, D. (2019). Evaluation of microplastic ingestion by tropical fish from Moorea Island, French Polynesia, *Marine Pollution Bulletin*, 140, 165-170.
- [55] Ross, P. S. Chastain, S. Vassilenko, E. Etemadifar, A. Zimmermann, S. Quesnel, S.-A. Eert, J. Solomon, E. Patankar, S. Posacka, A. M. ve Williams, B. (2021). Pervasive distribution of polyester fibres in the Arctic Ocean is driven by Atlantic inputs, *Nature Communications*, 12(1), 1-9.

- [56] Huang, W. Chen, M. Song, B. Deng, J. Shen, M. Chen, Q. ve Zeng, G. (2021). Microplastics in the coral reefs and their potential impacts on corals: A mini-review, *Science of the Total Environment*, 762, 143112.
- [57] Wang, S. Zhong, Z. Li, Z. Wang, X. Gu, H. Huang, W. Kar-Hei Fang, J. Shi, H. Hu, M. ve Wang, Y. (2021). Physiological effects of plastic particles on mussels are mediated by food presence, *Journal of Hazardous Materials*, 404, 124136.
- [58] Kühn, S. Schaafsma, F. L. Werven, B. v. Flores, H. Bergmann, M. Egelkraut Holtus, M. Tekman, M. B. ve van Franeker, J. A. (2018). Plastic ingestion by juvenile polar cod (*Boreogadus saida*) in the Arctic Ocean, *Polar Biology*, 41(6), 1269-1278.
- [59] Bessa, F. Ratcliffe, N. Otero, V. Sobral, P. Marques, J. C. Waluda, C. M. Trathan, P. N. ve Xavie, J. C. (2019). Microplastics in gentoo penguins from the Antarctic region, *Scientific reports*, 9(1), 1-7.
- [60] Beckwith, V. K. ve Fuentes, M. M. (2018). Microplastic at nesting grounds used by the northern Gulf of Mexico loggerhead recovery unit, *Marine Pollution Bulletin*, 131, 32-37.
- [61] Maes, T. de Jel, J. v. D. A. Vethaak, D. Desender, M. Bendall, V. A. van Velzen, M. ve Leslie, H. A. (2020). You Are What You Eat, Microplastics in Porbeagle Sharks From the North East Atlantic: Method Development and Analysis in Spiral Valve Content and Tissue, *Frontiers in Marine Science*, 7, 273.
- [62] Rai, P. K. Lee, J. Brown R. J. ve Kim, K.-H. (2021). Environmental fate, ecotoxicity biomarkers, and potential health effects of micro- and nano-scale plastic contamination, *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123910.
- [63] Meaza, I. Toyoda, J. H. ve Wise Sr, J. P. (2020). Microplastics in Sea Turtles, Marine Mammals and Humans: A One Environmental Health Perspecti, *Frontiers in Environmental Science*, 298.
- [64] Feng, L. He, L. Chen, J. Zhou, C. Qian, Z.-J. Hong, P. Sun, S. ve Li, C. (2020). Investigating the composition and distribution of microplastics surface biofilms in coral areas, *Chemosphere*, 252, 126565.
- [65] <http://www.jpi-oceans.eu/>. (tarih yok). 12 20. 2021 tarihinde <http://www.jpi-oceans.eu/> adresinden alındı.
- [66] Cole, M. Lindeque, P. Fileman, E. Halsband, C. Goodhead, R. Moger, J. ve Galloway, T. S. (2013). Microplastic Ingestion by Zooplankton, *Environmental Science & Technology*, 47(17), 6646-6655.
- [67] Desforges, J.-P. W. Galbraith, M. ve Ross, P. S. (2015). Ingestion of Microplastics by Zooplankton in the Northeast Pacific Ocean, *Archives of environmental contamination and toxicology*, 69(3), 320-330.
- [68] Zheng, S. Zhao, Y. Liangwei, W. Liang, J. Liu, Zhu, M. Li, Q. ve Sun, X. (2020). Characteristics of microplastics ingested by zooplankton from the Bohai Sea, China, *Science of the Total Environment*, 713, 136357.
- [69] Hall, N. Berry, K. Rintoul, L. ve Hoogenboom, M. (2015). Microplastic ingestion by scleractinian corals, *Marine Biology*, 162(3), 725-732.
- [70] K. S. Oldenburg, J. Urban-Rich, K. D. Castillo ve J. H. Baumann, (2021). Microfiber abundance associated with coral tissue varies geographically on the Belize Mesoamerican Barrier Reef System, *Marine Pollution Bulletin*, 163, 111938.
- [71] Bulleri, F. Ravaglioli, C. Anselmi, S. ve Renzi, M. (2021). The sea cucumber *Holothuria tubulosa* does not reduce the size of microplastics but enhances their resuspension in the water column, *Science of the Total Environment*, 781, 146650.
- [72] Gong, Y. Wang, Y. Chen, L. Li, Y. Chen, X. ve Liu, B. (2021). Microplastics in different tissues of a pelagic squid (*Dosidicus gigas*) in the northern Humboldt Current ecosystem, *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112509.
- [73] Cauwenberghe, L. V. ve Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption, *Environmental Pollution*, 193, 65-70.
- [74] Daniel, D. B. Ashraf, P. M. Thoms, S. N. ve Thomson, K. T. (2021). Microplastics in the edible tissues of shellfishes sold for human consumption, *Chemosphere*, 264, 128554.
- [75] Vieira, K. . S. Baptista Neto, J. A. Carlos Lopez, M. A. Gaylarde, C. Pierri, B. d. S. Saldaña-Serrano, M. Dias Bairy, A. C. Nogueira, D. J. ve Fonseca, E. M. (2021). Occurrence of microplastics and heavy metals

- accumulation in native oysters *Crassostrea Gasar* in the Paranagua ' estuarine system, Brazil, *Marine Pollution Bulletin*,166, 112225.
- [76] Gedik, K. ve Eryaşar, A. R.(2020). Microplastic pollution profile of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) collected along the Turkish coasts, *Chemosphere*,260, 127570.
- [77] Martinelli, M. Gomiero, A. Guicciardi, S.Frapiccini, E. Strafella, P. Angelini, S. Domenichetti, F. Belardinelli, A. ve Colella, S.(2021). Preliminary results on the occurrence and anatomical distribution of microplastics in wild populations of *Nephrops norvegicus* from the Adriatic Sea, *Environmental Pollution*, 278, 116872.
- [78] Feng, Z. Wang, R. Wang, J. Huang, W. Li, J. Xu, J. ve Gao, G. (2020).Microplastics in specific tissues of wild sea urchins along the coastal areas of northern China, *Science of the Total Environment*,728, 138660.
- [79] Hennicke, A. Macrina, L. Malcolm- Mckay, A. ve Miliou, A. (2021). Assessment of microplastic accumulation in wild *Paracentrotus lividus*, a commercially important sea urchin species, in the Eastern Aegean Sea, Greece, *Regional Studies in Marine Science*, 45, 101855.
- [80] Steer, M. Cole, M. Thompson, R. C. ve Lindeque, P. K. (2017). Microplastic ingestion in fish larvae in the western English Channel, *Environmental Pollution*, 226, 250-259.
- [81] Ding, J. Sun, C. He, C. Li, J. Ju, P. ve Li, F. (2021). Microplastics in four bivalve species and basis for using bivalves as bioindicators of microplastic pollution, *Science of the Total Environment*, 782, 146830.
- [82] Pereira, J. M. Rodríguez, Y. Blasco-Monleon, S. Porter, A. Lewis, C. ve Pham, C. K. (2020). Microplastic in the stomachs of open-ocean and deep-sea fishes of the North-East Atlantic, *Environmental Pollution*,265,115060.
- [83] Klangnarak, W. ve Chunniyom, S. (2020). Screening for microplastics in marine fish of Thailand: the accumulation of microplastics in the gastrointestinal tractof different foraging preferences, *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 27161-27168.
- [84] Baalkhuyur, F. M. Qurban, M. A.Psnickan, P. ve Duarte, C. M. (2020). Microplastics in fishes of commercial and ecological importance from the Western Arabian Gulf, *Marine Pollution Bulletin*, 152, 110920.
- [85] Gündoğdu, S. Çevik, C. ve Temiz Ataş, N. (2020).Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tracts of some edible fish speciesalong the Turkish coast, *Turkish Journal of Zoology*, 44(4),312-323.
- [86] Abadi, Z. T. R. Abtahi, B. Grossart, H.-P. ve Khodabandeh, S. (2021). Microplastic content of Kutum fish, *Rutilus frisii kutum* in the southern Caspian Sea, *Science of the Total Environment*, 752,141542.
- [87] López-Martínez, S. Morales-Caselles, C. Kadar, J. ve Rivas, M. L. (2020). Overview of global status of plastic presence in marine vertebrates, *Global Change Biology*, 27(4), 728-737.
- [88] Carlin, J. Craig, C. Little, S. Donnelly, M. Fox, D. Zhai, L. ve Walters, L. (2020). Microplastic accumulation in the gastrointestinal tracts in birds of prey in central Florida, USA, *Environmental Pollution*,264, 114633.
- [89] Nam, K.-B. Kim, M. Hong, M.-J. ve Kwon, Y. S. (2021).Plastic debris ingestion by seabirds on the Korean Peninsula, *Marine Pollution Bulletin*,166, 112240.
- [90] Bourdages, M. P. Provencher, J. F.Baak, J. E. Mallory, M. L. ve Vermaire, J. C. (2021). Breeding seabirds as vectors of microplastics from sea to land: Evidence from colonies in Arctic Canada, *Science of the Total Environment*, 764, 142808.
- [91] Seif, S. Provencher, J. F. Avery-Gomm, S. Daoust, P.-Y. Mallory, M. L. ve Smith, P. A. (2018). Plastic and Non plastic Debris Ingestion in Three Gull Species Feeding in an Urban Landfill Environment, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 74(3), 349-360.
- [92] Stewart, L. G. Lavers, J. L. Grant, M. L. Puskic, P. S. ve Bond, A. L. (2020). Seasonal ingestion of anthropogenic debris in an urban population of gulls, *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111549.
- [93] Teboul, E. Orihel, D. M. Provencher, J. F. Drever, M. C. Wilson, L. ve Harrison, A. L. Chemical identification of microplastics ingested by Red Phalaropes (*Phalaropus fulicarius*) using Fourier Transform Infrared spectroscopy, *Marine Pollution Bulletin*, cilt 171, p. 112640, 2021.

- [94] Basto, M. N. Nicastro, K. R. Tavares, A. I. McQuaid, C. D. Casero, M. Azevedo, F. ve Zardi, G. I. (2019). Plastic ingestion in aquatic birds in Portugal, *Marine Pollution Bulletin*, cilt 138, 19-24.
- [95] Lavers, J. L. Stivaktakis, G. Hutton, I. ve Bond, A. L. (2019). Detection of ultrafine plastics ingested by seabirds using tissue digestion, *Marine Pollution Bulletin*, cilt 142, pp. 470-474.
- [96] Eastman, B. C. Farrell, A. J. Whitmore, L. Rollinson Ramia, D. R. Thomas, R. S. Prine, J. Eastman, S. F. Osborne, T. Z. Martindale, M. Q. ve Duffy, D. J. (2020). Plastic Ingestion in Post-hatchling Sea Turtles: Assessing a Major Threat in Florida Near Shore Waters, *Frontiers in Marine Science*, 7, 693.
- [97] Caron, A. G. Thomas, C. R. Berry, K. L. Mott, C. A. Ariel E. ve Brodie, J. E. (2018). Ingestion of microplastic debris by green sea turtles (*Chelonia mydas*) in the Great Barrier Reef: Validation of a sequential extraction protocol, *Marine Pollution Bulletin*, 127, 743-751.
- [98] Di Renzo, L. Mascilongo, G. Berti, M. Bogdanovic, T. Listeš, E. Brkljača, M. Notarstefano, V. Gioacchini, G. Giorgini, E. Olivieri, V. Silvestri, C. Matiddi, M. D'Alterio, N. Ferri, N. ve Di Giacinto, F. (2021). Potential Impact of Microplastics and Additives on the Health Status of Loggerhead Turtles (*Caretta caretta*) Stranded Along the Central Adriatic Coast, *Water Air Soil Pollution*, 232(3), 1-20.
- [99] Parton, K. J. Godley, B. J. Santillo, D. Tausif, M. Omeyer, L. C. ve Galloway, T. S. (2020). Investigating the presence of microplastics in demersal sharks of the North-East Atlantic, *Scientific reports*, 10(1), 1-11.
- [100] Mancina, A. Chenet, T. Bono, G. Geraci, M. L. Vaccaro, C. Munari, C. Mistri, M. Cavazzini, A. ve Pasti, L. (2020). Adverse effects of plastic ingestion on the Mediterranean small-spotted catshark (*Scyliorhinus canicula*), *Marine Environmental Research*, 155, 104876.
- [101] Zantis, L. J. Carrol, E. L. Nelms, S. E. ve Bosker, T. (2021). Marine mammals and microplastics: A systematic review and call for standardisation, *Environmental Pollution*, 269, 116142.
- [102] Bossart, G. (2011). Marine Mammals as Sentinel Species for Oceans and Human Health, *Veterinary pathology*, 48(3), 676-690.
- [103] Hernandez-Gonzalez, A. Saavedra, C. Gago, J. Covelo, P. M. Santos, B. ve Pierce, G. J. (2018). Microplastics in the stomach contents of common dolphin (*Delphinus delphis*) stranded on the Galician coasts (NW Spain, 2005–2010), *Marine Pollution Bulletin*, 137, 526-532.
- [104] Zhu, J. Yu, X. Zhang, Q. Li, Y. Tan, S. Li, D. Yang, Z. ve Wang, J. (2019). Cetaceans and microplastics: First report of microplastic ingestion by a coastal delphinid, *Sousa chinensis*, *Science of the Total Environment*, 659, 649-654.
- [105] Philipp, C. Unger, B. Fischer, E. K. Schnitzler, J. G. ve Siebert, U. (2020). Handle with Care—Microplastic Particles in Intestine Samples of Seals from German Waters, *Sustainability*, 12(24), 10424.
- [106] Perez-Venegas, D. J. Toro-Valdivieso, C. Ayala, F. Brito, B. Iturra, L. Arriagada, M. Seguel, M. Barrios, C. Sepúlveda, M. Oliva, D. Cárdenas-Alayza, S. Urbina, M. A. Jorquera, A. Castro-Nallar, E. ve Galbán-Malagón, C. (2020). Monitoring the occurrence of microplastic ingestion in Otariids along the Peruvian and Chilean coasts, *Marine Pollution Bulletin*, 153, 110966.
- [107] Nelms, S. Barnett, J. Davison, N. Deaville, R. Galloway, T. Lindeque, P. Santillo, D. ve Godley, B. (2019). Microplastic in marine mammals stranded around the British coast ubiquitous but transitory?, *Scientific Reports*, 9(1), 1-8.

Derleme Makalesi-Review Article

Finansal Zaman Serilerini Tahminlemede Kullanılan Yöntemlere Genel Bir Bakış

A General Review of the Methods Used Financial Time Series Forecasting

Nuh Yurduseven^{1*}, Ahmet Anıl Müngen²

Geliş / Received: 18/03/2022

Revize / Revised: 14/06/2022

Kabul / Accepted: 19/06/2022

ÖZ

Geçmişte olduğu gibi günümüzde de yatırımcılar için finansal verilerin trendinin tahmin edilebilmesi ve bu bilgi kullanılarak bir finansal strateji oluşturulması oldukça önemlidir. Fakat günümüzde hızlı internet bağlantıları ile finansal verilerin hızlı ulaşması ve bilişim ve bulut sistemlerindeki gelişmeler, finansal tahminlemek için yapay zekâ algoritmalarının kullanılması bu alanda rekabeti artırmaktadır. Fintech içinde portföy yönetimi gibi alanlarda yapay zekâ uygulamalarının kullanım payı gittikçe artmaktadır. Bu çalışmanın amacı finansal zaman serisi verileri tahminlemek için yapılan daha önceki akademik çalışmaları derlemek, zaman serilerinin tahmin etmek için kullanılan yapay zekâ algoritmalarını açıklamak ve tahmin edilen bazı finansal veri tiplerini ve bağımlılıklarını irdelemektir. Çalışma sonunda incelenen makalelerde kullanılan tekniklerin yeterlilikleri ve hangi veri tipi için hangi metodun daha başarılı sonuçlar verebileceği gibi çıkarımlar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler- *Finansal Zaman Serisi, Öngörü, Yapay Zekâ, Veri Madenciliği*

ABSTRACT

As in the past, it is very important for investors to be able to predict the trend of financial data and to create a financial strategy using this information. However, nowadays, rapid access to financial data with fast Internet connections, developments in informatics, and cloud systems, the use of artificial intelligence algorithms for financial forecasting increase competition in this field. The share of artificial intelligence applications in areas such as portfolio management in Fintech is increasing. The aim of this study is to compile previous academic studies to predict financial time series data, to explain artificial intelligence algorithms used to predict time series, and to examine some predicted financial data types and their dependencies. At the end of the study, inferences were made such as the adequacy of the techniques used in the articles examined and which method could yield more successful results for which data type.

Keywords- *Financial Time Series, Forecasting, Artificial Intelligent, Data Mining*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: 200801001@ostimteknik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7108-4940>)

Yazılım Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Ostim Teknik Üniversitesi, Yenimahalle, Ankara, Türkiye

²İletişim: ahmet.mungen@ostimteknik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-5691-6507>)

Yazılım Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Ostim Teknik Üniversitesi, Yenimahalle, Ankara, Türkiye

I. GİRİŞ

Finansal verilerin analiz edilip kısa veya uzun vadeli olmak üzere tahminleme çalışmaları uzun zamandır yapılmaktadır. Finans alanında temel ve teknik analizler bir işletmenin hisse senedi, bir emtianın değeri ve bir miktar metallerin ve dövizin karşılığının tahmin edilmesinde sıkça kullanılmaktadır.

Finansal sistemde temel analiz, ekonomik ve finansal faktörleri inceleyerek bir menkul kıymetin değerini ölçme yöntemidir[1]. Temel analistler, şirketin borsadaki finansal durumunu ve performansını anlamaya çalışır, ekonominin durumu ve endüstri koşulları gibi makro ekonomik faktörlerden şirketin yönetiminin etkinliği gibi mikro ekonomik faktörlere kadar güvenliğin değerini etkileyebilecek her şeyi inceler. Temel analistlerin çalışmaları şirketin finansal oranlarına dayandırır. Bulunan değerler ile şirketin finansal durumunu sektördeki rakipleri ile karşılaştırmak için kullanılır. Bu değerler arasında işletme sermayesi oranı, öz kaynak kârlılığı ve hisse başına kazanç gibi metrikler vardır.

Şirketin değerini belirlemek için temel analiz ile dikkate alınması gereken farklı faktörler de vardır. Bu faktörlerden bazıları hükümet politikaları ve haber bültenleridir. Temel analiz ile incelenen tüm faktörler, yatırımcıların şirketin hisse senedi fiyatının değeri ile ilgili yorum yapmasına yardımcı olur.

Teknik analiz, piyasa yapılarını belirlemek ve gelecekteki fiyat hareketlerini tahmin etmek için geçmiş fiyat verilerini kullanan bir finansal analitik uygulamadır [2]. Teknik analiz yöntemleri temelde hisse senetlerinin fiyatı ile bu senetlerin hacmine dayanmaktadır. Teknik analistler, teknik göstergeleri kullanarak geçmiş verilerden motifler çıkartmaktadırlar. Teknik göstergelerden bazıları hacim, momentum, oynaklık ve eğilim grafiklerdir. Bu hesaplamalar ve çizelgeler, yatırımcıların alım satım sinyallerini tanımasını sağlar.

Teknik Analizler yalnızca geçmiş piyasa verilerine (fiyat ve hacim) dayanan nesnel metodolojilerdir. Uzmanların bir değerlendirmeye varmak için bir şirketin operasyonlarını, yönetimini ve gelecekteki beklentilerini dikkate alınması gerekir. Başlangıçta Dow Teorisi¹ yoluyla geliştirilen çoğu teknik analizin temeli, hisse senedi piyasası fiyatlarının yönlü (yukarı, aşağı veya yana) hareket edeceği ve bu eğilimleri belirlemek için geçmiş hareketlerin kullanılabilmesi teorisi [3].

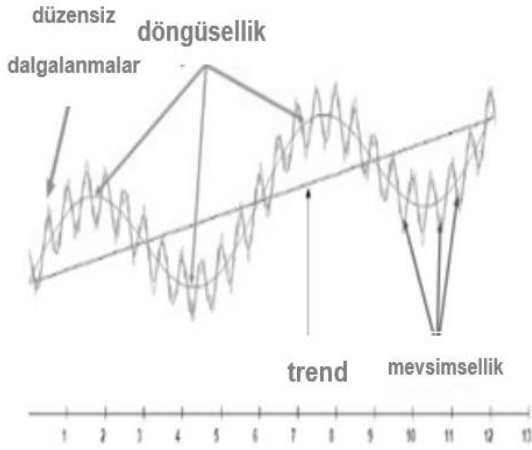
Finansal değer tahmin yaklaşımları, iki ayrı ana başlıkta incelenir. Bunların her biri farklı bilgi türlerine dayanır. Temel analizde yatırımcılar, bir şirkete ait finansal verileri, örneğin şirketin satışlarını, karlarını, borçlarını ve temettülerini inceleyerek hisse senedinin gerçek değerini tahmin eder. Temel göstergeler analiz için kullanılır. Buna karşın temel göstergeleri kullanarak fiyat hareketlerini anlayan modeller oluşturmak daha zor olduğundan, temel analize dayalı modeller literatürde daha az bulunur[5]. Teknik analiz ise hisse senetlerini, piyasa faaliyeti tarafından oluşturulan fiyat eğilimlerini analiz eder ve değerlendirir. Teknik analiz için gereken bilgiler düzenli olarak yayınlanır. Bu sebeple kısa vadeli tahminler için yaygın olarak kullanılır ve modelleme yapılabilir.

Finansal teknoloji (FinTech), finansal hizmetlerin sunumunu ve kullanımını iyileştirmeyi ve otomatikleştirmeyi amaçlayan yeni teknolojiyi tanımlamak için kullanılır[6]. FinTech, bilgisayarlarda ve giderek artan bir şekilde akıllı telefonlarda kullanılan özel finansal yazılım ve algoritmalarıdır. Kullanıcılar bu yazılımlar ile şirketlerin ve tüketicilerin finansal operasyonlarını, süreçlerini yakından takip eder. FinTech, kelime olarak "finansal teknolojinin" bir birleşimidir[6]. Son yıllarda makine öğrenmesi, derin öğrenme gibi konular finansal teknolojiler içerisinde daha sık kullanılmıştır. Mediant'a göre FinTech'teki yapay zekâ (AI) uygulamalarının 2022 yılına kadar 7 milyar dolara kadar çıkacağı tahmin ediliyor [7]. Yine Globenewswire'da yer alan bir habere göre ESOMAR tarafından paylaşılan verilerde 2021 yılında FinTech marketi içinde AI uygulamalarının yaklaşık 10,1 milyar dolara ve 2022 tahmininin 11,76 milyar dolar olacağı tahmin ediliyor. FinTech pazarı içinde yapay zekâ uygulamaları tahmin edilenden çok daha hızlı büyüdüğü söylenebilir. Aynı rapora göre 2022-2032 10 yıllık periyodunda 54 milyar dolara ulaşacağı ve marketin %16.5 'lik bir bölümünü oluşturacağı tahmin ediliyor[8].

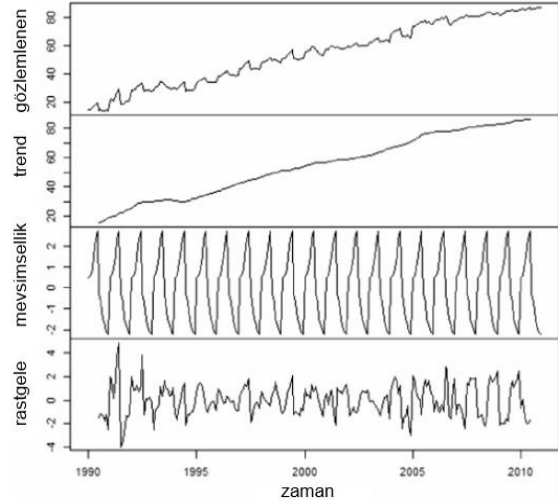
Trend terimi finansal veriler için sıklıkla kullanılır ve serinin uzun vadedeki yönünü belirtir[9]. Zaman serileri zamana bağlı olarak yukarı veya aşağı yönlü olabilen değişime uğrayan veri tipleridir. Bu veriler trend etkisi, konjonktürel hareketler, mevsimsel hareketler, rassal etki ve durağanlık bileşenlerinden oluşurlar. Seri uzun vadede artma veya azalma eğilimine sahip olabilir. Konjonktürel (düzensiz) hareketler zaman serisinin trend çizgisi etrafındaki dalgalanmalarını ifade eder. Mevsim etkisi veya mevsimsel hareketler belirli zaman aralıklarında seri trendinin değişmesi, birbirini izleyen dönemlerde serinin benzer şekilde davranması olarak ifade

¹Dow Teorisi, Charles Dow tarafından açıklanan en eski ve en bilinen teknik analiz teorilerinden biridir. Teoriye göre ortalamalar her şeyi hesaba katar ve piyasa hareketi ana(majör) trend, ikincil trend ve minör trend olmak üzere üç şekildedir [3], [4].

edilebilir. Rassal veya düzensiz etkiler belli olmayan bazı durumların seri üzerindeki önceden tahmin edilemeyen değişimler yaratmasına denir. Durağanlık ise zaman serilerinde zaman içinde varyans değerinin sabit olması gerektiğini ifade eder. Buna göre zaman içinde durağan olan zaman serilerinin analizi edilmesi ve tahminlenmesi mümkündür. Belirli bir zaman içerisinde durağan olmayan seriler için matematiksel bir formül yazılması mümkün değildir.



Şekil 1. Zaman serisi bileşenleri [10]



Şekil 2. Zaman serisi bileşenleri [11]

Bu çalışma;

- Finansal zaman serisi verileri ve özellikleri,
- Finansal zaman serisi tahminlemede kullanılan yapay zekâ metotlarının tipleri ve özellikleri,
- Finansal zaman serisi tahminlemek için önceden hazırlanmış çalışmalarda hangi tip veriler üzerinde hangi teknikler kullanıldığı ve başarı oranları,
- Konu ile ilgili yapılacak çalışmalarda bu tekniklerin uygulanması ile ilgili tavsiyeler içerir.

Bu çalışmada bu konuda yapılan çalışmalarda kullanılan zaman serisi verileri üzerinde, uygulanan tekniklerin başarımı ve performans kriterlerine bakılmıştır. Bu çalışmanın amacı bu konuyla ilgili gelecek çalışmalarda kullanılmak üzere geçmiş çalışmalarda kullanılan tekniklerin başarım ve kullanılan verinin hangi finansal zaman serisi veri tipinden olduğu gibi parametrelere göre değerlendirilip eşleştirilerek bir sınıflandırma yapmaktır. Bu bağlamda makalenin ikinci bölümünde bazı finansal zaman serisi verilerine değinip bu veriler hakkında temel ve teknik anlamda genel bilgi verilmesi amaçlandı. Üçüncü bölümde finansal zaman serisi tahminlemek için kullanılan yapay zekâ metotları teknik açıdan ele alındı ve bu yöntemlerin hangi problem tipinde sıklıkla tercih edildiği gibi konular üzerinde duruldu. Dördüncü bölümde literatürde yapılan çalışmalar üzerine geniş bir perspektifle bakılarak bu konuda yapılan çalışmalar incelendi. Özellikle dikkat çekici sonuçları olan başarılı çalışmalar okuyucu için detaylı biçimde incelenip ve detayları verilmiştir. Son bölümde bu çalışmadan çıkarımlar ve bunlar üzerinde değerlendirme yapıldı. Bu çalışma gelecek çalışmalar için önemli bir başucu kaynağı olması için hazırlanmıştır.

II. FİNANSAL ZAMAN SERİLERİ VE BAĞIMLIKLARI

Finansal zaman serileri gün, saat ve yıllara göre bir finansal değerini gösteren verilerdir. Bunlar bir hisse senedinin, devlet tahvilinin veya bir emtianın zamana bağlı yukarı veya aşağı yönlü trend çizgilerini takip eden verileri olabileceği gibi itibari paralar dışında Web 3.0 ile gelen kripto değerlerin zaman içindeki değişimlerini de ifade edebilir. Ayrıca ülkelerin ekonomik göstergeleri de global pazarı etkiler. Bu tip verilerin önceden tahmin edilebilmesi hem bireysel hem kurumsal olarak finansal strateji belirlemek için oldukça önemli bir yetenektir ve bu anlamda yetenekli kurum veya bireyler finansal açıdan daha başarılı olabilir. Temel ve teknik analiz gibi finansal analizlerin yanında makine ve derin öğrenme gibi girdi ve çıktı değerleri üzerinde çalışarak

uygun matematiksel modeli hazırlayan algoritmalar bu problemin çözümü için kullanılabilir. Bu bölümde kullanılacak algoritmalara verilen girdiler üzerinde durulması amaçlanmaktadır. Kullanılacak girdi verileri ve aralarındaki ilişkiler modelin öğrenme ve test metriklerine göre performansını doğrudan etkilediği için bu bölümde bu veriler ve bağımlılıkları incelenmiştir [12].

A. Hisse Senedi Verileri

Hisse senedi verileri bir şirketin piyasadaki değerini ifade eden verilerdir ve bu veriler zaman içinde değişik trendlere göre harekete edebilir [13]. Dünyanın birçok borsasında insanlar hisse senedi alıp satarak kâr payı kazanmak için çeşitli yöntemlere başvurmaktadır. Hisse senetleri şirketin büyüklüğüne veya küçüklüğüne bağlı olmaksızın farklı sayıda veya farklı değerlere sahip olabilir. Borsalarda hisse senetleri satın almak şirkete finansal ortak olmak anlamına gelir. Eğer hisse temettü dağıtan bir hisse ise yıl sonunda şirket elde ettiği karı ortaklar arasında hisse büyüklüklerine yani şirketteki pay oranlarına göre dağıtılır [14]. Temettü hissesi değil ise kâr payı dağıtılmaz. Eğer şirket faaliyetleri iyiye gidiyorsa şirket hisselerine olan talep artar ve hisseler değerlendirilir. Veya tam tersi olabilir. Bu veriler aslında şirketin kamuoyundaki itibarı, finansal istikrar, ekonomik yapı, muhasebe yapısı, hükümet politikaları veya tüm dünyada şirketin faaliyet gösterdiği sektördeki durağanlık veya volatilité gibi bağımlılıklara göre artar veya azalır. Bu veriler doğrusal olmayan verilere örnektir ve bu tip veriler önceden oluşan koşullara duyarlılık gösterirler, yani sınırsız hafızaya sahiptirler. Eğer bir hisse senedi serisinde uzun hafızadan kaynaklanan bir süreklilik varsa eski ve yeni veriler arasında bir korelasyon ilişkisi vardır [15]. Yapılan bir çalışmada Avrupa borsalarının bağımlılıkları çok yüksek oranda değiştiğindeki davranışları incelenmiş ve bazı borsa hareketleri arasında korelasyon olduğu keşfedilmiştir [16]. Çalışmada Almanya, Birleşik Krallık, Fransa, Hollanda, İtalya borsalarına ait 1973-2001 arası veriler kullanılmıştır ve bir borsada ortaya çıkan aşırı büyük bir hareketin (aşağı veya yukarı) diğer borsalar ile ne kadar güçlü bir bağlantıya sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır. Aynı şekilde bu makalenin konusu olan yapay zekâ yöntemleri ile zaman serisi tahmin eden bir diğer çalışmada aynı borsada işlem gören 3 hisse için bir CNN modeli oluşturulup ilk hisse ile değeri verisiyle eğitilen modelin diğer iki hisse verisi üzerinde test edildiğinde oldukça iyi bir performans ile gelecek verileri tahmin ettiği görülmüştür. Literatüre yapılan çalışmalar çoğunlukla hisse senedi verilerinin tahmin edilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Sezer ve arkadaşlarının yaptığı sistematik inceleme çalışmasında 2005-2019 yılları arasında derin öğrenme metotları ile tahmin etme çalışmaları incelenmiş ve arxiv.org'dan alınan istatistiklerde hisse senedi verilerinin tahmin edilmesi isimli konunun bilimsel araştırma konusu olarak oldukça popüler olduğu görülmüştür [17]. Bu tip çalışmalar günümüzde de popülerliğini sürdürmektedir. Sonuç olarak hisse senetleri fiyatlarının birçok enstrümana bağımlı olduğu görülebilmektedir ve bunları doğru ve etkili kullanmak tahmin eden modelin başarımını doğrudan olumlu yönde etkileyecektir.

B. Forex Verileri

Forex borsaları, yabancı ülke paralarının veya çeşitli değerli metal ve emtiaların işlem gördüğü borsalardır. Forex piyasaları dünyanın işlem hacmi en yüksek ve en likit piyasasıdır ve menkul kıymetler haftada 5 gün 24 saat işlem görür [18]. Günlük işlem hacmi trilyonlarca dolardır. Bu kadar yüksek hacimde verilerin tek bir piyasada olması birçok yatırımcılara birçok fırsat sunmaktadır ve sonuç olarak yatırımcılar açısından iyi stratejiler belirlemek yüksek kar elde etmek için son derece önemlidir [17]. Yatırımcılar için birçok online platform bulunmaktadır. Bu servisler içinde portföy yönetiminde yapay zekâ algoritmaları sıklıkla kullanılır. Forex itibarı paralar, emtialar, değerli metallerin fiyatlandığı bir piyasa olduğu için bağımlılıklara sahiptir. Forex piyasasında işlem gören itibarı paralar, değerli metaller veya emtialar hükümet politikaları, ekonomik yapı, muhasebe yapısı, ekonomik veriler gibi hisse senedi ile benzer bağımlılıklara sahip olmakla birlikte yine hisse senetleri gibi borsa içi dinamiklere de bağımlılık gösterirler. Bu sebeple bu tipte finansal verilerin tahmin edilebilmesi için geniş yelpazede finansal değerlendirme yapılmalı, iç ve dış dinamikler bu tip verilerin tahmin edilebilmesi için kullanılmalıdır.

C. Endeks Verileri

Endeksler bir hisse, bir tahvil, emtia veya bir pazarın gibi finansal varlıkların iniş ve çıkışlarını izler ve bu piyasanın sağlığını belirlemek için hızlı ve etkili bir yoldur [19]. Örneğin borsa endeksleri içinde hisse senedi bulunduran ve bunların farklı ağırlıklar ile hesaplanması sonucunda bulunan değerlerdir. Bu ağırlıklar her hisse senedi için farklılık gösterebilir. En bilinen borsa endeksleri S&P 500, Dow Jones, Nasdaq 100, Russel 200 veya Türkiye'de Borsa İstanbul içinde BIST100, BIST30 gibi borsa endeksleri mevcuttur. Endeks ağırlıklandırma için farklı modeller mevcuttur fakat en yaygın kullanılan üç model şunlardır [20]:

- Piyasa Değeri Ağırlıklı
- Eşit ağırlıklı
- Fiyat ağırlıklı

Piyasa değeri ağırlıklı bir endeks yüksek değerli şirketler endeksin performansına diğerlerinden daha fazla etki eder. Eşit ağırlıklı modelde tüm hisseler aynı şekilde incelenir ve endeks performansına etkileri aynıdır. Fiyat ağırlıklı ise şirket hisselerinin fiyatlarına göre şirketler ağırlıklandırılır ve hisse fiyatı fazla olan şirketler endeks üzerinde daha etkilidir.

Bu bağlamda endeksler yatırımcılar için borsa endeksleri ve küresel korku endeksi olarak tanımlanan VIX endeksi piyasayı analiz edebilmek, yatırım için uygun zemin olup olmadığını anlayabilmek için son derece önemli göstergelerdir[21].

Endeks değerleri için zaman serisi gösterimi oldukça fikir vericidir ve bu çalışmanın ana konusu olan zaman serisi öngörme açısından bu verilerde incelenebilir. Her endeksin farklı ağırlıklandırma metotları olması bu endekslerin her birinin kendine has bağımlılıklara sahip olduğunu gösterebilir. Ayrıca endeks türüne göre değişmekle birlikte endekte izlenen finansal değerlerin bağımlılıkları endekslerin de bağımlılıkları olduğu sonucuna varılabilir.

III. ZAMAN SERİSİ TAHMİNLEMEDE KULLANILAN YAPAY ZEKA METOTLARI

A. ARIMA(AR-I-MA)

Doğrusal durağan stokastik tahmin modelleri otoregresif (AR) modeller, hareketli ortalama(MA) ve ikisinin birleşmesi ile oluşan bütünleşik otoregresif hareketli ortalama(ARIMA) modelleridir[22]. ARIMA modeli durağan olmayan zaman serilerinin tahmininde kullanılan bir modeldir. Finansal veriler durağan olmayan zaman serilerine örnektir. Bu serilerin durağanlığı trend, mevsimsel ve konjonktürel dalgalanmalar ve tesadüfi sebepler gibi etkenler tarafından bozulur. Zaman serilerini modellemek için hareketli ortalama, üstel yumuşatma ve ARIMA dahil olmak geleneksel istatistiksel modeller kullanılabilir. Gelecekteki değerler geçmiş verilerin doğrusal fonksiyonları olarak ifade edildiğinden bu modeller doğrusaldır.

Zaman serisi tahmin modelleri literatürde sıklıkla gelecekteki talebi tahmin edebilmek amacıyla kullanılır. Bu modellerin geçmişine ve doğuşuna baktığımızda Miller ve Williams [23], tahmin doğruluğunu artırmak için modellerinde mevsimsel faktörleri karıştırmış, mevsimsel faktörler çarpımsal modelden hesaplanmıştır ve Hyndman, [24] mevsimsel ARIMA hipotezi altında trend ve mevsimsellik arasında farklı ilişkiler uygulayarak Miller ve Williams'ın çalışmalarını genişletmiştir.

Bir ARIMA modeli, ARIMA(p,d,q) olarak ifade edilir. Bu gösterimdeki:

- p, otoregresif terimlerin sayısıdır;
- d farkların sayısıdır; ve
- q hareketli ortalamaların sayısıdır.

1) Otoregresif Süreç(AR): Otoregresif modeller, Y_t 'nin önceki değerlerin doğrusal bir fonksiyonu olduğunu varsayar[25]. Bu, eşitlik (1)'de şu şekilde ifade edilmiştir. ARIMA (1,0,0) olarak da ifade edilebilir.

$$Y_t = a_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Her gözlem rastgele bir değişkenden oluşmaktadır (ε_t bunun ifade eder. Her gözlem bir önceki gözlemin doğrusal bir kombinasyonundan oluşmaktadır. Ayrıca a_1 ile ifade edilen değer öz regresyon katsayısıdır.

2) Entegrasyon Süreci(I): Zaman serilerinin davranışı, bazı süreçlerin ortaklaşa etkisinden etkilenebilir. Örneğin hisse senetlerinin ortalama seviyesi, hisse senetleri arasındaki süre boyunca anlık değişikliklerin ortak etkisine bağlıdır. Kısa vadeli hisse senedi değerleri, bu ortalama değer etrafında büyük beklenmedik durumlarla dalgalanabilse de uzun vadede serinin seviyesi değişmeyecektir. Faaliyetin kümülatif etkisi tarafından belirlenen bir zaman serisi, bütünleşmiş süreçler sınıfına aittir. Bir serinin davranışı düzensiz olsa bile, bir gözlemden diğerine farklar nispeten düşük olabilir. Farklı zaman aralıklarında gözlemlenen bir süreç için sabit bir değer etrafında salınım hareketi yapılabilir. Bütünleşmiş bir süreç için farklılıklar serisinin durağanlığı, zaman serisinin istatistiksel analiz yönünden bakıldığında çok önemli bir özelliktir[25].

Bütünleşmiş süreçler, durağan olmayan serilerin ilk örneğidir. 1. dereceden bir türev, Y 'nin iki ardışık değeri arasındaki farkın sabit olduğunu varsayar. Bütünleşmiş bir süreç eşitlik (2) ile şu şekilde tanımlanabilir. ε_t rastgele pertürbasyonu simgeler. ARIMA (0,1,0) olarak da ifade edilebilir[25].

$$Y_t = Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

3) Hareketli Ortalamalar (MA): Hareketli bir ortalama alma işleminin mevcut değeri, bir veya daha fazla önceki bozulma ile mevcut bozulmanın doğrusal bir birleşimidir[25]. Hareketli ortalama sayısı, mevcut değere gömülü olan önceki dönemlerin sayısını göstermektedir. Böylece, hareketli bir ortalama eşitlik (3) ile tanımlanır. ARIMA (0,0,1) olarak da ifade edilebilir.

$$Y_t = \varepsilon_t - \Phi_1 \varepsilon_{t-1} \quad (3)$$

Bu durumda p. mertebeden otoregresif süre. ARIMA(p,0,0) formülü eşitlik (4)'teki gibi ifade edilebilir.

$$Y_t = \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-2} + \dots + \beta_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (4)$$

ARIMA(p,d,q) formülü ise eşitlik (5)'de görülebilir. Alfa(α) terimi modelin tahmin ettiği kesme terimini ifade eder.

$$Y_t = \alpha + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-2} + \beta_3 Y_{t-3} + \dots + \beta_p Y_{t-p} \varepsilon_t + \Phi_1 \varepsilon_{t-1} + \Phi_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \Phi_q \varepsilon_{t-q} \quad (5)$$

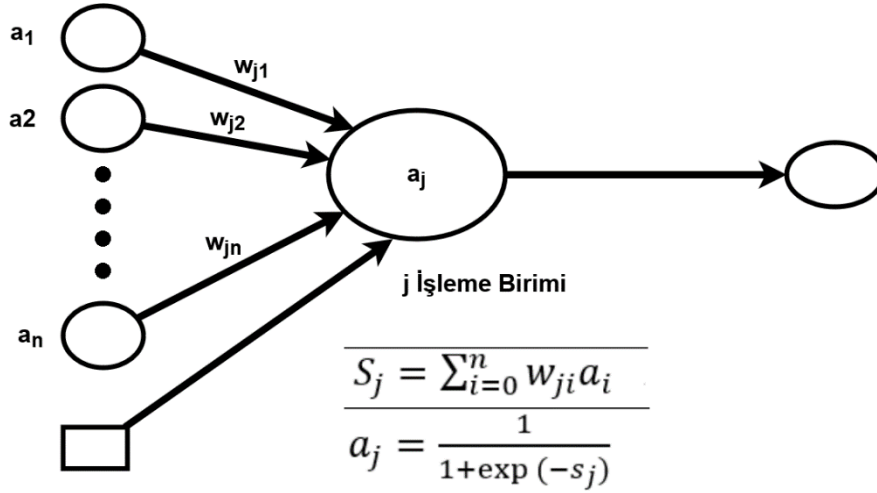
B. Üstel Yumuşatma

Üstel yumuşatma tekniği oldukça sık kullanılan ve iyi sonuçlar veren zaman serisi tahminleme metotlarından biridir. Metot verideki son değişimleri ve trendleri ele alarak öngörülerin sürekli olarak güncelleştirildiği dinamik çalışan bir modeldir[26]. Bu modele göre ileri yönlü olarak oluşan yeni hareketlere uyum sağlayabilmek amacıyla modele üstel olarak azalan ağırlıklar verilir ve bir çeşit ağırlıklı ortalama alınır [27]. Çünkü bu yöntemin çalışma prensibine göre daha yeni veriler eski verilere oranla veriyle ve tahmin ile daha alakalıdır. Bu sebeple daha yüksek ağırlıklar verilir. Üstel yumuşatma yöntemi bir regresyon doğrusu ile açıklanamayan, zaman içinde değişen deterministik ve stokastik trende sahip zaman serileri ile kullanılır. Bu yöntem doğası itibarı ile yakın dönemli değişimlere daha çok öncelik verdiği için çok uzun dönemli tahminler için uygun olmayabilir.

C. Yapay Sinir Ağları

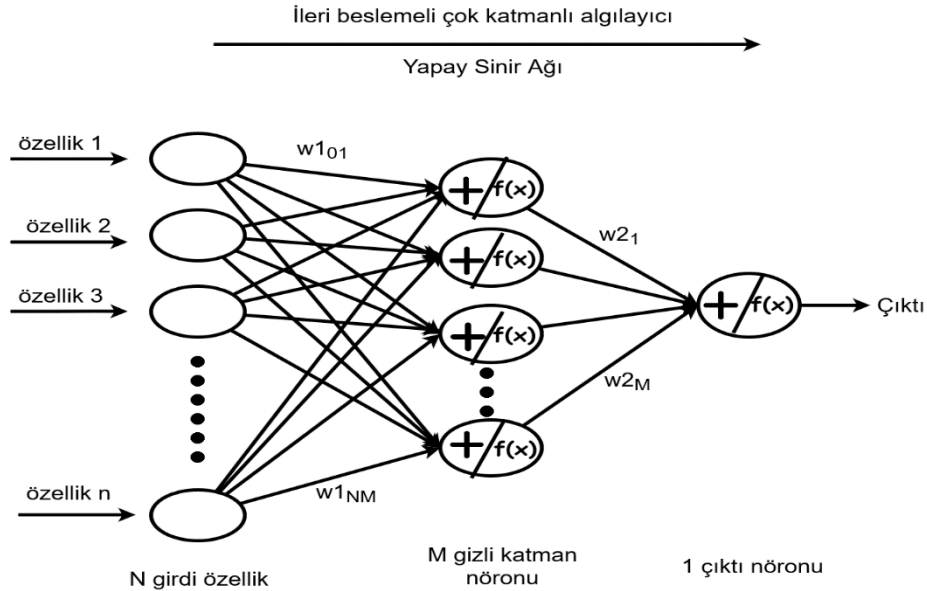
Yapay Sinir Ağları (YSA) insan beyni esas alınarak geliştirilmiş, birbirleri ile ağırlık bağlantı ilişkisi bulunan elemanların bir araya gelmesiyle oluşturulmuş paralel ve karmaşık bilgi işleme yapıları olarak adlandırılmaktadır[28]. Ağ yapısının en ayırıcı özelliği, tecrübe odaklı öğrenilme yeteneğine sahip olmasıdır. Yıldırım ve arkadaşları önceki verilerden hareketle bunu başarabilen ağırlık öğrenme yolu ile yeni bilgiler elde etme ve oluşturabilme gibi fonksiyonel özellikleri sayesinde tahmin modellemelerinde sıklıkla kullanılan bir yapı haline geldiğini yaptıkları çalışmada ortaya koymuşlardır[29].

Bir sinir ağı, orijinal olarak beyindeki nöronların biyolojik mekanizmalarından esinlenen bir öğrenme modelidir. Yapı, esasen bağlantılı düğümler ve kenarlar veya "nöronlar" ve "ağırlıklar" ile bir ağ sisteminin yapısıdır. Nöronlar, girdi birikiminin çıktının "ateşlenmesi" ile sonuçlandığı beyinde görülen sinapslarla aynı fikre dayanır. Buradaki girdi, modelin girdisi (tipik olarak gerçek sayılar) tarafından belirlenir ve nöronun ağırlıkları ve aktivasyon fonksiyonları aracılığıyla işlenir. Aktivasyon fonksiyonu daha sonra ya orta seviyede ya da modelin nihai çıktısı olarak bir çıktı değeri ile sonuçlanır. Sistem, girdi örneklerini sırayla dikkate alarak ve daha doğru çıktılar elde etmek için kenarlar arasındaki ağırlıkları ayarlayarak öğrenir. Çıktı türleri, sınıflandırma veya regresyon değerleri olabilir.



Şekil 3. Algılayıcı modeli [30]

1) Çok katmanlı algılayıcı: Çok katmanlı algılayıcı ağlar veya Multilayer Perceptron (MLP), girdi katmanı, gizli katmanlar ve çıktı katmanı olmak üzere çok sayıda katmandan oluşan bir yapay sinir ağı tipidir [31]. Bu tip ağlarda en uygun gizli katman sayısı ve bulundurduğu nöron sayılarının belirlenmesi için bir metodoloji yoktur. Araştırmacı kendi metodu ile bu parametreleri belirleyebilir. Şekil 3'te girdi ve çıktı nöronları arasındaki gizli katmanlar ve aralarında bağlantılar görülebilmektedir. Her bağlantı bir ağırlığa sahiptir. Şekil 4'te bir ileri beslemeli birçok katmanlı algılayıcı ağı görülebilmektedir. Ağırlıklar ve değerler çarpılarak toplam fonksiyonu ile toplanır, sonrasında seçilen aktivasyon fonksiyonu uygulanarak bir sonraki katmandaki nöronlara girdi olarak tekrar verilir.



Şekil 4. Çok katmanlı Algılayıcı modellemesi [32]

İleri beslemeli algoritmada ağırlıkların her iterasyonda güncellenmesi için geri yayılım algoritması kullanılır. Ağın her bir işlem elemanı, transfer fonksiyonu türevinin tüm gizli katmanlardan ilk katmana geriye doğru yayılması yoluyla uygulanan uyumsuzluklar için bir cezalandırma uygulanır. Bu ancak geri yayılım algoritması ile mümkün olabilir. Geri yayılım algoritması hatayı geriye doğru dağıtarak modelin ağırlıklarını güncellemeye ve daha hızlı ve etkin bir eğitim için kullanılan bir algoritmadır [33]. Maliyet fonksiyonu ise gerçek ve ağın tahmin ettiği değerleri ölçmek için kullanılır. Bu şekilde maliyet fonksiyonunu değerini azaltmak için tüm

ağırlıklar güncellenir. Ağın tahmin edilen ve gerçek çıktıları arasındaki ortalama kare hatası (MSE) genellikle bir maliyet fonksiyonu olarak seçilir. Fakat birçok maliyet fonksiyonu bu iş için kullanılabilir.

Geri yayılımda, maliyet fonksiyonu genellikle türevsel iniş (gradientdescent) tekniği kullanılarak minimize edilir. Mevcut noktada maliyet fonksiyonunun negatif türevi boyunca yönü takip etmeye dayanır. Ancak, bazı dezavantajlar vardır[34]:

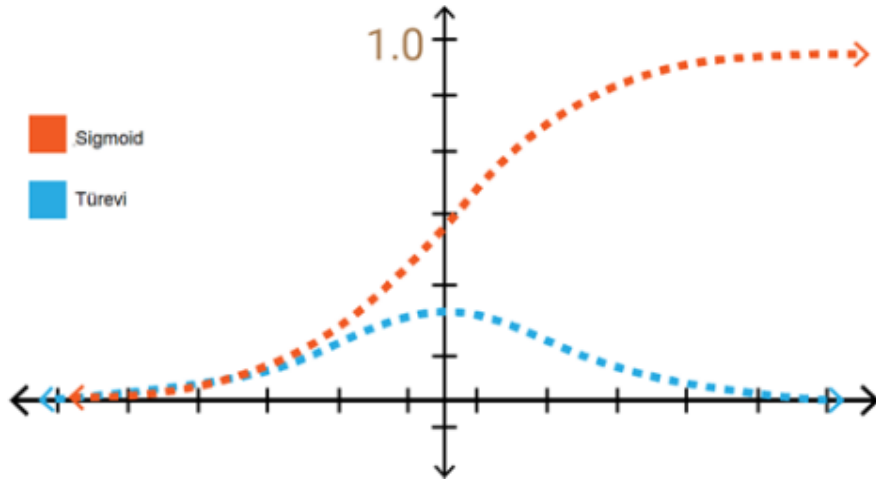
1. Maliyet fonksiyonunun yerel minimumu, yanlışlıkla istenen global minimum için alınabilir ve bu nedenle MLP'nin yanlış performansına neden olabilir.
2. İlgili hesaplamalar önemli zaman harcamaları gerektirir ve MLP'nin yakınsama hızını olumsuz etkileyebilir MLP'nin performans kalitesi de iç mimarisine bağlıdır.

Belirli miktarda düğüm ve katman, aktivasyon fonksiyonlarının tipi ve parametreleri, MLP'nin verilen problemi ne kadar iyi çözdüğünü önemli ölçüde etkileyebilir.

Bu tip ağ yapısında işlemler ileri yönlü olarak gerçekleşir ve son katmandaki nöronun çıktısı modelin tahmin ettiği değeri verir. Ağ yapısında W_n ile gösterilen değerler ağırlıklara karşılık gelir. Bu değerler ile girdi değerleri eşitlik (6)'da gösterilen toplam fonksiyonunda işleme tabi tutulur.

$$\text{Net} = \sum_{i=1}^n x_i * w_i \quad (6)$$

Eşitlik (6) 'da ki x değerleri girdi değerlerini, "w" ile gösterilen değerler ise ağırlıkları simgeler. Toplam işlemin sonucu "Net" toplam aktivasyon fonksiyonuna girdi olarak verilen değerdir. Her düğüm için ayrı ayrı hesaplanır. Bu işlemden den sonra aktivasyon fonksiyonu uygulanır. Örnek bir aktivasyon fonksiyonu olarak sık kullanılan Sigmoid aktivasyon fonksiyonu Şekil 4'te verilmiştir. Görüldüğü gibi -2 ve 2 arasında değişken değerler alması -2 ve 2 veya 0-1 arasında değer alan girdiler üzerinde iyi bir öğrenme sağlayabileceğini göstermektedir. Ayrıca aktivasyon fonksiyonunun türevlenebilir ve türevinin sabit olmaması da gerekmektedir.



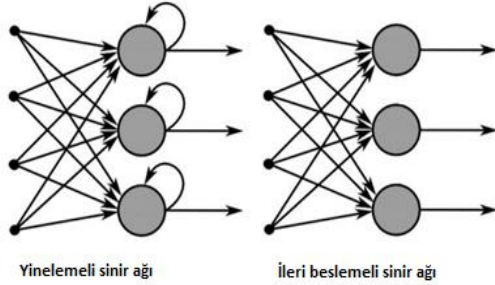
Şekil 5. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve türevi [35]

$$f(x) = \sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (7)$$

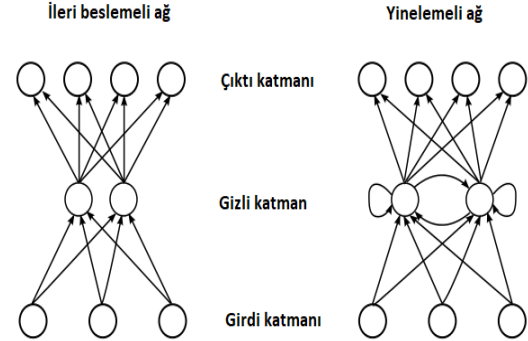
Eşitlik (7) sigmoid aktivasyon fonksiyonunun matematiksel gösterimidir. "e" ile ifade edilen değer Euler sabitidir.

D. Yinelemeli Sinir Ağları (RNN)

Yinelemeli sinir ağları veya RNN (Recurrent Neural Network) bir derin öğrenme modelidir. Derin öğrenme yöntemleri, zaman serisi tahmininde doğrusal olmama ve karmaşıklık gibi verilerin yapısını ve modelini belirleme yeteneğine sahiptir[36].

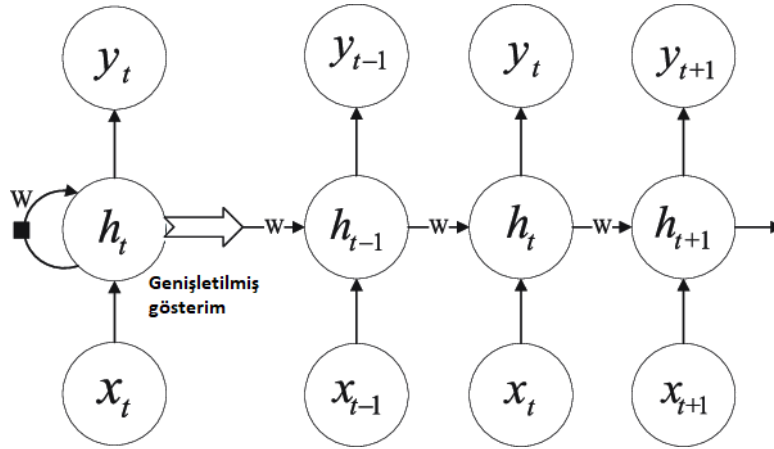


Şekil 6. RNN ve ileri beslemeli yapay sinir ağlarının nöronları arasında bağlantıların karşılaştırılması[37]



Şekil 7. RNN ve ileri beslemeli yapay sinir ağlarının nöronları arasında bağlantıların karşılaştırılması[38]

Şekil 6 ve Şekil 7’de görüldüğü gibi tekrarlayan sinir ağı modeli her iterasyonda bir önceki iterasyona ait gizli katman veya çıktı değerlerini yeniden gizli katman nöronlarına besler ve bu şekilde iteratif olarak devam eden süreçte önceki iterasyonlarda kullanılan ve çıktı alınan veriler ile sonraki iterasyon verileri arasındaki ilişkinin öğrenilmesi sağlanır. Bu özellikle doğal dil işleme ve zaman serisi verileri gibi bir önceki verinin bir sonraki veri hakkında bilgi sağladığı veri tiplerinde kullanılabilir bir yöntemdir. Şekil 8’de bu ilişki matematiksel ve şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 8. RNN hiyerarşisi [39]

Matematiksel olarak ifade edilmiş şekli aşağıdaki eşitlik (8)’de [38] görüldüğü gibidir. “P” fonksiyonu burada herhangi bir aktivasyon fonksiyonu olarak düşünülebilir. t zamanında h değeri bir t-1 zamanında h değeri ve t zamanında x değerinin aktivasyon fonksiyon çıkışına eşittir. “h”, hücre çıktı değeridir.

$$h_t = f(h_{t-1}, x_t) \quad (8)$$

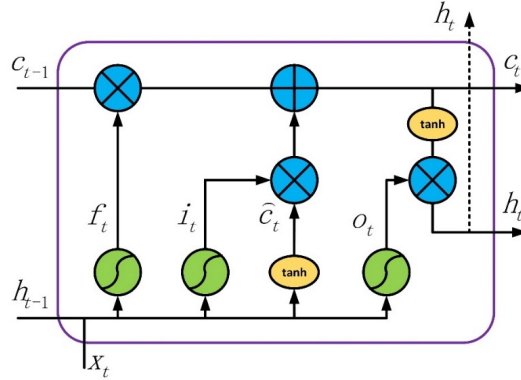
Eşitlik (9)’daki [40] t zamanında h değeri elde edilebilmesi için eski gizli katman ağırlık değeri ile bir önceki iterasyondaki h değeri tanjant aktivasyon fonksiyonuna yeni iterasyonda eklenir.

$$h_t = \tan(w_{hh}h_{t-1} + w_{xh}x_t) \quad (9)$$

Eşitlik (10)’da [40] görüldüğü gibi t zamanında iterasyon çıktı değeri y ise t zamanındaki h değeri ile çıktı katmanı ağırlık değeri çarpımı ile bulunur.

$$y_t = w_{hy}h_t \quad (10)$$

1) Uzun-Kısa Süreli Bellek(LSTM):LSTM (Long-ShortTerm Memory)metodu tıpkı GRU (Gated Recurrent Unit) gibi yinelemeli sinir ağı yönteminin geliştirilmiş bir versiyonudur [41]. Uzun kısa vadeli bellek modeli, 1997’de Hochreiter ve Schmidhuber tarafından ortaya atılan bir tekrarlayan RNN sinir ağı modelidir[42]. Finansal zaman serilerinin ileri adım tahmini, yalnızca en son verileri değil, aynı zamanda önceki verilerinde bilinmesini gerektirir. Gizli katmanın kendi kendine geri bildirim mekanizmasından yararlanan RNN modeli, uzun vadeli bağımlılık problemleriyle başa çıkmada bir avantaja sahiptir, ancak pratik uygulamada zorluklar vardır. RNN'ningradyan kaybolması problemini çözmek için Sepp Hochreiter ve Jurgen Schmidhuber 1997’de LSTM modelini önerdi [42].



Şekil 9. LSTM blok mimarisi[43]

Şekil 9’da bir LSTM hücre modeli görülebilmektedir. Bu hücre modelinde kullanılan girdi, çıktı ve unutmaya kapıları hücreyi klasik bir RNN modelinden ayıran en önemli farklılıklardan biridir. Bu kapılar sayesinde hücre bir önceki verinin önemli olup olmadığını ayırt edebilir. Burada unutmaya kapısında yapılan işlem eşitlik (11)’de [43] verilmiştir.

$$f_t = \sigma(W_f[h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (11)$$

Bu fonksiyon girdilerinden biri t-1 zamanında h değeri t zamanındaki x değeridir. Sigmoid fonksiyonu 0 veya 1 sonucu üretecektir. Eğer 1 sonucu üretilirse sonucu depolayacaktır.

Denkmlerde (12) (13) [43] girdi kapısında yapılan işlemleri gösterilmektedir.

$$i_t = \sigma(W_i[h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (12)$$

$$C_{tg} = \tanh(W_c[h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (13)$$

Hücrenin t zamanında giriş kapısından çıkan sonuç C vektörüdür. Daha sonra hücre durumunu belirlemek için elde edilen değerlerin çarpımları mantıksal olarak toplanır. Bu, aşağıdaki eşitlik (14)’te [43] ifade edilmiştir.

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * C_{tg} \quad (14)$$

Çıktı katmanında yapılan işlemler eşitliklerde (15) (16) [43] ifade edilmiştir.

$$o_t = \sigma(W_o[h_{t-1}, h_t] + b_o) \quad (15)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (16)$$

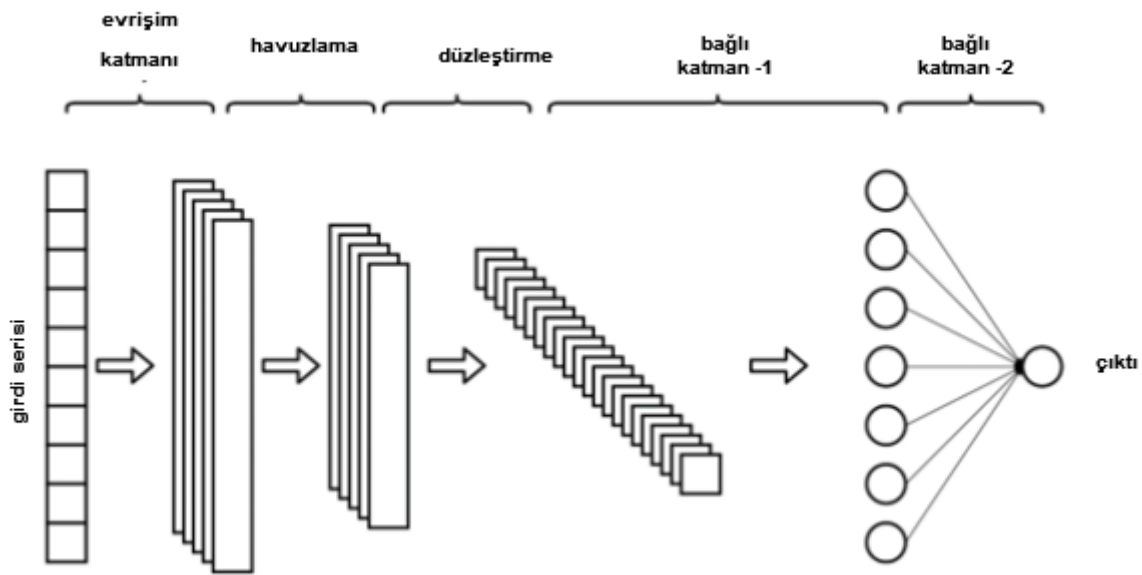
Çıktı katmanında tanjant fonksiyonu, -1 ile 1 arasında değer alır ve bu işlem ile saklanan bilginin ne kadarının kullanılacağı hesaplanmaktadır. Sigmoid fonksiyonun çıktısı ise 0 ile 1 arasında değer alır ve yeni gelen bilginin, kullanılıp kullanılmayacağına karar verir.

E. Evrişimli Sinir Ağları (CNN)

Bir CNN (Convolutional Neural Network), evrişim katmanları, havuzlama katmanları ve tamamen bağlı katmanlardan oluşan çoklu katmanlardan oluşur[44]. Evrişimli bir katmanda, her nöron bir önceki katmanın alt alanından girdi alır ve bir önceki katmanın alt alanına “alıcı alan” adı verilir. Her nöron bir önceki katmanın alıcı alanından gelen girdi değerlerine belirli bir fonksiyon uygular ve bir sonraki nörona iletmek için bir çıktı değeri

hesaplar. Uygulanan fonksiyon, ağırlıklar ve sapma ile belirlenir. Ağırlıkların vektörü ve yanlılık filtreler olarak adlandırılır. Ağırlıklar ve biaslar, sinir ağının eğitilebilir parametreleridir ve öğrenme süreci bu ağırlıkları ve biasları yinelemeli olarak ayarlar. Evrişim katmanının filtre boyutu, beklenen çıktının boyutu ile aynı olmalıdır. Evrişim katmanının çekirdek boyutu, evrişim penceresinin genişlik ve yükseklik parametrelerini gösterir. Havuzlama katmanı, alt örnekleme yoluyla parametre sayısını ve hesaplamayı azaltmak için bir işlev kullanır.

Bir evrişimli sinir ağı özellik çıkarma ve problem çözücü olmak üzere bir sinir ağı olan iki parçadan oluşur. Sinir ağının özellik çıkarma ile bölümü evrişim (konvolüsyon), aktivasyon ve havuzlama katmanlarından oluşur [45]. Bu katmanların görevi aslında makine öğrenmesinde bulunmayan öznelik çıkarma aşamasının da model tarafından yapılabilmesidir. Model verinin ayırt edilebilir özneliklerini anlamlandırmaya çalışır ve sonraki aşamada bir tam bağı bir sinir ağı ile tahminleme, sınıflandırma gibi denetimli öğrenme problemlerinin çözümü yapılır.



Şekil 10. Zaman serisi tahmin analizi çalışmasında kullanılan CNN modelinde konvolüsyon, havuzlama ve düzeltme katmanlarına sahip özellik çıkarımı bölümü ve ardından tam bağımlı sinir ağı modellemesi [46]

Şekil 10'daki gibi bir modelde konvolüsyon işleminde bir maske ile verinin filtrelenmesi sağlanır ve verinin türevleri elde edilir. Formülasyon gösterimi aşağıdaki gibi olabilir[17]. Burada (17) iki boyutlu görseller için konvolüsyon işlemi yapılıyor. I input görselleri, K çekirdeği, m ve n boyutları, i ve j değişkenleri ifade eder[17].

$$S(i, j) = (I * K)(i, j) = \sum_m \sum_n I(m, n)K(i - m, j - n) \quad (17)$$

Konvolüsyondan sonra aktivasyon işlemi gelir ve aktivasyon işlemi için genelde 0'dan küçük değerler için 0 değeri üreten ReLU aktivasyon fonksiyonu (18) tercih edilir[45].

$$y = \max(0, x) \quad (18)$$

Havuzlama işleminde katman ve boyut azaltılır. Düzeltme aşamasında matrisler dizilere sıkıştırılır ve tam bağımlı sinir ağı ile denetimli öğrenme işlemi yapılır. Bu yöntemler özellikle öznelik çıkarmanın zor olduğu görsel veriler üzerinde çok daha anlamlıdır.

Derin öğrenme alanında en çok kullanılan yöntemlerden biri olan evrişimli sinir ağları, birçok alanda, özellikle öznelik çıkarımının oldukça zor olduğu problemlerde son derece faydalıdır[44]. Bir çok problem çeşidinde, özellikle görüntü işleme problemlerinde[44], [47]–[49] öznelik çıkarma aşamasının zor olması sebebi ile tercih edilen bu yöntem, zaman serisi analizinde de oldukça sık kullanılmaktadır. Tıp alanında tümör sınıflandırma gibi problemlerde de faydalı olan bir sınıflandırıcıdır[50].

F. Facebook Prophet Algoritması

Prophet algoritması Facebook tarafından geliştirilen zaman serisi tahmin etmek için kullanılan başarılı algoritmalarından biridir. Prophet algoritması R ve python paketi olarak kullanıma sunulmuştur. Prophet algoritması özellikle şu veri kümeleri için yararlıdır:

- Ayrıntılı tarihsel gözlemlerin (saatlik, günlük veya haftalık) uzun bir süresini (ay veya yıl) içeren
- Birden fazla güçlü mevsimselliğe sahip
- Önceden bilinen önemli, ancak düzensiz olaylar
- Eksik veri noktalarına veya büyük aykırılıklara sahip
- Bir sınıra yaklaşan doğrusal olmayan büyüme eğilimlerine sahip Zaman serisi verileri için kullanımı uygundur.

Model python, R gibi açık kaynak yazılım dağıtımlarında kolaylıkla entegre edilip kullanılabilir [51].

Prophet, parçasal doğrusal veya lojistik büyüme eğrisi eğilimine sahip bir katkı regresyon modelidir ve Fourier serisi kullanılarak modellenen yıllık mevsimsel bir bileşen ve sahte değişkenler kullanılarak modellenen haftalık bir mevsimsel bileşen içerir [52].

IV. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR GENEL BİR BAKIŞ

Bu bölümde literatürde son yıllarda yapılan finansal zaman serisi tahminleme çalışmalarından modelleme, kullanılan veri, uygulama yöntemi, başarısı, değerlendirme kriterleri ve benzer diğer faktörler açısından dikkat çekici olan bazı çalışmalar detaylı bir şekilde kullanılan yöntem başlığı altında açıklanmıştır.

A. ARIMA veya ARIMA Tabanlı Modeller

ARMA veya ARIMA, diğer adıyla Box-Jenkins metodu kullanılan bu çalışma kapsamında incelenen çalışmalardan ilk olarak Mondal ve arkadaşları tarafından hazırlanan çalışmada, ARIMA modelinin hisse senedi verileri üzerinde performansının etkisi ölçülmüştür [53]. Çalışmada 56 adet farklı sektörlerde bulunan (9 farklı sektör) firmaların hisse senetleri üzerinde farklı ARIMA modelleri uygulanmış ve performans kriteri olarak AIC ve AICc kullanılmıştır. AIC, "Akaike Information Criterion"nin kısaltma kullanımınıdır. Bu zaman serileri ile modelin ürettiği zaman serisinin uyumunu ölçen bir performans ölçme yöntemidir. AICc "Akaike Information Criterion corrected"nin kısaltma kullanımınıdır. "c" harfi değerinin küçük örnek boyutları için düzeltilmiş AIC testinden hesaplandığını gösterir. AIC veya AICc için düşük değerler gelmesi modelin iyi uyum sağladığını gösterir. En iyi uyum sağlayan model seçilip MAE ile modelin başarımı 6,12,18 ve 23 aylık periyotlarda ölçülmüştür. 9 farklı sektör ve 56 farklı hisse senedi üzerinde model başarımlarının performansı sektörel bazda incelenmiş ve otomobil, çelik ve bankacılık sektörlerinde standart sapmanın yüksek olduğu görülerek bu sektörlerde verinin yayıldığı ve bazı hisse verilerinde iyi sonuç vermediği görülmüştür. IT sektöründe standart sapmanın çok yüksek veya çok düşük olmadığı ve bu sebeple %90 üzeri başarıma ulaştığı gözlemlenmiştir.

ARIMA, LSTM ve GRU ile geliştirilen modellerin karşılaştırıldığı çalışmada Bitcoin fiyatları zaman serisi verisi kullanılmıştır [54]. 1647 satırdan oluşan veri seti 70:30 olarak bölünerek eğitim ve test veri seti oluşturulmuş, özellikler arasında korelasyon çözülmeye çalışılmış ancak sadece kapanış fiyatları kullanılarak model oluşturulmuştur. %2,76 ve 302,53 MAPE (Mean absolute percentage error) ve RMSE (root means square error) değerleri ile en iyi modelin ARIMA olduğu görülmüştür.

B. Üstel Yumuşatma Tabanlı Modeller

Üstel Yumuşatma yöntemi ve türevleri kullanılan modeller yine sık kullanılan modellerdir ve literatürde sık karşılaşılır.

Lai ve arkadaşlarına [55] ait çalışmada üstel yumuşatma ve yapay sinir ağları modelleri kullanılarak bir hibrit model oluşturulmuş ve finansal zaman serisi tahmini için önerilmiştir. Çalışmada geri yayımlı yapay sinir ağı ve üstel yumuşatma tekniği kullanan iki ayrı model daha aynı veri üzerinde kullanılmıştır. İki ayrı modelin ürettiği tahminler sinerji yakalayarak hibrit bir model oluşturmuştur. Burada üstel yumuşatma modelinin zaman

serilerindeki doğrusal karakteristiği, yapay sinir ağının ise doğrusal olmayan karakteristiğini yakalayabilme yeteneğinden faydalanılmış ve iki model birleştirilerek iki farklı karakteristik için tek model çözümü getirmeye çalışılmıştır. Veri olarak 1 Ocak 2000- 31 Aralık 2002 periyodundaki USD/EUR ve JPY/USD kur verileri kullanılmıştır. 1 Ocak 2000- 31 Eylül 2002'ye kadar eğitim verisi olarak kullanılmış ve sonraki üç ay bu modellerle tahmin edilmiştir. RMSE ve S_{stat} istatistiksel olarak doğrulanma yöntemleri kullanılmış ve hibrit model iki veri üzerinde de RMSE ölçütünde 0,0035 ve ile diğer modellerden daha başarılı sonuç vermiştir. Ayrıca D_s göre de en yüksek yüzde değerine yine hibrit model ulaşmıştır. Çünkü iki ayrı modelin başarılı bir sinerjisini yakalayabilmiştir.

C. Yapay Sinir Ağı Tabanlı Modeller

Yapay sinir ağları birçok amaçla kullanılan geleneksel-köklü yapay zekâ ve makine öğrenmesi metodlarından biridir ve metodun başarısı hala sıklıkla tercih edilmesinin en büyük sebeplerindedir. Bu kapsamda Yapay sinir ağları kullanılan modeller veya yapay sinir ağı ile hibrit kullanılan diğer modellere literatürde oldukça sık karşılaştığımızı söyleyebiliriz. Hibrit kullanım model başarısına çoğu zaman olumlu yönde etmektedir ve özellikle farklı verilere uyum sağlama konusunda oldukça başarılı istatistikler vermektedir. Örneğin Khashei ve arkadaşlarının çalışmasında farklı tipte zaman serisi verileri üzerinde aynı model uygulanmış ve model uyumu konusunda hibrit olmayan modellere daha iyi olduğu görülmüştür[56]. Çalışmada güneş ışığı verisi, Kanada vaşakları sayısının yıllar içinde değişimi ve sterlin-dolar fiyat değişimi zaman serisi verileri arasındaki ilişki ARIMA, ANN (Artificial Neural Network) ve ARIMA-ANN hibrit modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Her veri için çalışmada önerilen model diğer modeller ve Zhang'ın hibrit modelinden[57] daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır. Hibrit bir model olan Zhang'ın modeli de sadece ARIMA ve ANN modellerinden daha düşük hata oranına ve daha iyi uyuma sahiptir.

Başka bir çalışmada Babu ve arkadaşları zaman serisi tahmini için yine ARIMA-ANN hibrit bir model kullanmıştır[58]. Bu çalışmada önceki çalışmada kullanılan "sunspotdataset", elektrik fiyatı zaman serisi verileri ve L&T ye ait hisse senedi fiyat verileri ile 4 farklı model denenmiştir. Bu denemeler sonucunda ARIMA ve ANN modellerinin tek başlarına zaman serisi tahminleme konusunda yetersiz olduğu, fakat hibrit modeller geliştirildiğinde her iki yöntemin yetersiz kaldığı veri tiplerinde başarılı oldukları tespit edilmiştir. Babu ve Reddy çalışma sonunda çeşitli uygulamalardan kaynaklanan zaman serisi verileri genel olarak hem doğrusal hem de doğrusal olmayan varyasyonları içerdiği, doğrusal ARIMA modelleri ve doğrusal olmayan YSA modelleri, bu tür verileri tek tek doğru şekilde modelleyemeyeceği. ARIMA ve ANN modellerinin güçlü yanlarını birleştiren hibrit modeller, her iki model türünün avantajlarından aynı anda yararlanabildikleri için, bireysel model türlerinden daha iyi olduğu çıkarımını yapmıştır. Bu çalışmada, ARIMA dizilerinin istatistiksel özelliklerine dayalı olarak yeni bir hibrit ARIMA-ANN tabanlı tahmin modeli önerilmektedir. Önerilen model, verilen zaman serisini iki veri kümesine ayırtmak için bir MA filtresi kullanır. Daha sonra yazarlar bu ayırtmalarına uygun olarak ARIMA ve ANN modellerini uygulamıştır. Hibrit modelden alınan tahminler, iki ayrı modelden tahminlerin birleştirilmesi ile elde edilir. Bu hibrit model hem bir adım ileri hem de çok adım ileri tahmin yeteneğine sahiptir. Önerilen model, zaman serisi verilerine ve güneş lekeleri verileri, elektrik fiyat verileri ve finansal veriler olmak üzere farklı türden üç mevcut veri kümesi üzerinde test edilmiştir. Hem tek adımlı hem de çok adımlı tahmin için, önerilen hibrit model, MAE ve MSE açısından ARIMA ve ANN modelleri ve bazı mevcut hibrit ARIMA-ANN modelleri gibi diğer birkaç modelden daha yüksek tahmin doğruluğuna sahiptir. Bu durumda ANN-ARIMA hibrit modelinin basit ve kolay uygulanabilen başarılı bir model olduğu görülmüştür. Bu iki çalışma hibrit modellerin ARIMA ve ANN modellerinin avantajlı özelliklerini birleştirdiğini göstermektedir.

Adhikari ve arkadaşlarına ait çalışmada RandomWalk (RW), ileri beslemeli yapay sinir ağı, elman ağı ve RW-ANN hibrit modelleri kullanılarak Büyük Britanya Pound ve Hindistan Rupisi (GBP-INR) parite değişim oranı, S&P endeksinin verisi ve IBM 'e ait hisse senedi verileri üzerinde tahmin çalışması yapılmıştır [59]. Çalışmada Randomwalk ve ANN algoritmalarının dezavantajlarını ortadan kaldırarak lineer ve lineer olmayan zaman serileri için etkili bir şekilde modelleme yapabilecek hibrit bir model oluşturulmuştur. Uygulama sonunda MAE, MSE ve simetrik MAPE ile değerlendirilen modellerden hibrit modelin diğer modellerden daha etkili olduğu görülmüştür.

D. RNN-LSTM Tabanlı Modeller

Önceki bölümde bahsedilen yinelemeli sinir ağları ve LSTM bir hafızaya sahip olması sayesinde zaman serisi tahminleme metodları arasında en iyilerinden biridir. Literatürde yapılan çalışmalardan Sima ve Akbar'a ait çalışmada LSTM metodu kullanılmış ve yüksek başarımlı oranları sağlanmıştır[60]. LSTM' deki hata oranındaki

azalma miktarlarının %84-87 arasında olduğudur. Ayrıca, çalışmadan elde edilen diğer bir sonuç göre derin öğrenmede “epoch” olarak bilinen eğitim zamanlarının sayısının, eğitilen tahmin modelinin performansı üzerinde hiçbir etkisi olmadığı ve gerçekten rastgele bir davranış sergilediğidir[60].

Bir finansal zaman serisi çalışması olmasa bile Sagher ve Kotb’a ait petrol üretim verilerinin incelendiği “Time series forecasting of petroleum production using deep LSTM recurrent networks” isimli çalışma kullandığı yöntemler ve veri kullanım yöntemi açısından oldukça dikkat çekiciydi ve bu çalışma içinde incelenmesi gereken bir çalışma olduğunu düşündük [61]. Çalışmada iki senaryo, iki veri seti ve çok sayıda yapay zekâ metodu kullanılmıştır. Çalışmada Çin Huabei Petrol sahası Blok-1 ‘den toplanan 227 birim veriden oluşuyor. Bu verilerin %80’i eğitim veri seti ve %20’si test veri seti olarak kullanılmıştır. Bu senaryoda Derin LSTM modelinin statik ve dinamik olarak iki senaryo ile, single-RNN, multi-RNN ve Derin GRU modelleri kullanılmıştır.

Fang ve arkadaşlarına ait [62] bir diğer çalışmada Morgan Tayvan endeks verileri kullanılmıştır. Çalışmada Facebook prophet algoritması ve LSTM modelleri birleştirilip bir yapay sinir ağı modeli önerilmiştir. Kullanılan veriler 2014 ve 2018 arasında paylaşılan MSF verileri olup “Taiwan Economics News Database TEJ” ‘den toplanmıştır. İlk 5 yıl eğitim verisi olarak kullanıp 60 günlük trend tahmini yapılmış ve RMSE’ye göre model performansı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak birleştirilmiş yapay sinir ağı modelinde 0,04464 RMSE değerine ulaşılabilmektedir.

E. CNN Tabanlı Modeller

Evrışimli sinir ağı kullanılan modellerden biri olan Livieris ve arkadaşlarına ait çalışmada LSTM-CNN hibrit modeli altın fiyatları zaman serisi üzerinde kullanılmıştır [63]. Yazarlar bu çalışmada CNN’in yararlı bilgiyi çıkarma yeteneğinden ve LSTM ağının uzun ve kısa dönem etkinlikleri LSTM katmanlarıyla tanımlayabilme yeteneğinden yararlanmışlardır. Son durumda hibrit modelin sadece LSTM kullanılan modellerden daha iyi bir performans sergilediği sonucu elde edilmiştir. Çalışmada yazarlar kısa ve uzun vadeli bağımlılıkların belirlenmesinin zaman serisi doğru tahmin sağlayacağı çıkarımında bulunmuşlardır.

Li[64]’ye ait çalışmada kullanılan “Shanghai Stock Exchange Index (Shanghai Stock Exchange Index)” ve “Shenzhen Stock Exchange Index (Shenzhen Component Index)” üzerinde yatırımcılar için CNN ile kısa vadeli bir model oluşturulmuştur. Kullanılan veri seti bölünerek 3 farklı boyutta veri seti oluşturulmuştur. Önceki çalışmalarda “radial bases function tabanlı yapay sinir ağı” ve “Kalman filtered neural network” ile CNN arasındaki hata oranı bir grafik ile ortaya konmuş ve CNN’in üstünlüğü görülmektedir. Makalede zaman serisi temel alan modellerin yatırımcı duyarlılığını dikkate almadığı için bir evrışimli sinir ağları ve ağ güvenlik modeli oluşturulmuştur. Çeşitli gün aralıklarına ve ardışık günlere göre model performansı değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda alınan sonuçlara göre zaman serisi modeline bağlı olarak oluşturulan derin duygusal bilgileri temel duygusal özelliklerle değiştirmek için CNN kullanılması önerilmektedir.

Selvin ve arkadaşlarına ait çalışmada LSTM,RNN,CNN-sliding window (kayan pencere yaklaşımı)ile ilaç sektöründe faaliyet gösteren üç firmaya ait hisse senedi verilerini tahminlemek üzere sadece bir tanesi eğitim veri seti olarak kullanılarak bir tahmin modeli geliştirilmiştir[12]. Eğitim veri seti 1 Haziran 2014’ten 14 Ekim 2014’e kadar olan sadece INFOSYS hisse senedi verilerini içerirken test veri seti ise 16 Ekim 2014’ten 28 Kasım 2014 ‘e kadar olan INFOSYS, TSC ve CIPLA hisse senedi fiyatlarını içermektedir. Veri setleri üzerinde normalizasyon işlemi yapılmış ve ARIMA ve diğer modellerin hata yüzdeleri arasında karşılaştırma yapılmıştır. CNN ile kurulan modelin sırasıyla 2,36, 8,96 ve 3,63’lük hata yüzdeleri verdiği görülmüştür. Burada en düşük hata oranı eğitim veri seti olarak kullanılan şirketin hisse senedi verilerine aittir fakat diğer veriler ile de oldukça iyi performans gösterdiği söylenebilir. Çalışmada derin sinir ağı mimarilerinin gizli dinamikleri yakalayabildiği ve tahminlerde bulunabildiği görülmektedir. Bu, önerilen sistemin verilerdeki bazı karşılıklı ilişkileri tanımlayabildiğini göstermektedir. Ayrıca, CNN mimarisinin trendlerdeki değişiklikleri belirleyebildiği çıkarımı yapılmıştır. Önerilen metodoloji için CNN en iyi model olarak belirlenmiştir. Tahmin için belirli bir anda verilen bilgileri kullanır. Yazarlar borsada meydana gelen değişimler her zaman düzenli bir seyir izlemeyebileceğini veya her zaman aynı döngüyü takip etmeyebileceğini bu sebeple CNN gibi ağların ilişki tespit yeteneğinin kullanımının daha fazla kazanç sağlayabileceği çıkarımını yapmışlardır.

F. Facebook Prophet Algoritması Tabanlı Modeller

İbrahim ve arkadaşlarına [51] ait çalışmada bitcoin fiyatları üzerinde bir trend tahmini çalışması yapılmıştır. Çalışmada oldukça 5 dakikalık zaman dilimlerinde veri çekilerek “day-trading” olarak bilinen gün

çinde yapılan alım satım işlemleri için trend yönü tespit etmek için prophet algoritması ile BTC-USD fiyat tahmini yapılmıştır. Prophet, Rastgele Orman, gecikmeli otoregresif rastgele orman, çok katmanlı algılayıcı modelleri çalışmada kullanılmıştır. 2014'e ve 2017 ye uzanan iki ayrı borsadan 5 dakikalık tick-data formatında bitcoin/usd verileri kullanılmıştır. Ayrıca Apple, Facebook, Google, Microsoft gibi hisse verileri de yine aynı format ile toplanmıştır. "Naive Guessing" ve "Momentum strategy" iki ayrı değerlendirme stratejisidir. Çok kullanılan bazı indikatörler veri üzerinde özellik mühendisliği aşamasında kullanılmış ve veri trend yönü ve momentum tahmin edilebilecek şekilde model girdisi olmak için hazırlanmıştır. Son durumda çok katmanlı algılayıcı en yüksek başarımlarını yakalamış ve ikinci sırada prophet algoritması başarılı sonuçlar vermiştir.

Yusof ve arkadaşlarına ait[65] çalışmada Standard & Poor's 500 endeksi (SP500), Dow Jones Endüstriyel Ortalama endeksi (DJIA), Çin Güvenlik endeksi (CSI300), Kuala Lumpur Kompositendesi (KLCI), Hong Kong HangSeng 300 endeksi (HS300) ve Nihon Keizai Shinbun endeksi (Nikkei) verileri facebook prophet algoritması ile tahmin edilmiştir. Sonuçta ortalama mutlak yüzde hatası en fazla %6'ya ulaşabilmiş ve verilere iyi uyum sağlayan bir model geliştirilmiştir.

İncelenen çalışmalarda özet bilgi niteliğindeki veriler Tablo 1'de özetlenmiştir. Özet bilgi olarak kullanılan yöntemlerin hangi yöntemlerle beraber veya karşılaştırmalı olarak kullanıldığına, çalışma periyoduna ve başarımlarına yer verildi.

Tablo 1. Facebook Prophet algoritması ile oluşturulan modelleri kullanan çalışmaların özeti

Yazarlar	Kullanılan veriler	Periyot	Kullanılan yöntemler	Performans Ölçütleri	Başarımlar oranı
[53]	Hisse senedi	Nisan 2012-Şubat 2014	ARIMA	AICc, ve MAE,std of acc,paired t-test	>%90
[54]	Kripto varlık	Kasım 2014- Haziran 2019	ARIMA, LSTM, GRU	MAPE, RMSE	%2,76, 302,53
[55]	Forex verileri	Ocak 2000 -Aralık 2002	ES, BPNN,hibrit model	RMSE, D _{stat}	RMSE-0,0035 USD/EUR RMSE-0,6571 JPY/USD
[56]	Forex ve diğerleri	1980-1993(forex)	ANN, ARIMA, ANN-ARIMA hibrit model	MAE, MSE	-
[58]	Hisse senedi	2013-2013(200günlük)	ANN, ARIMA, ANN-ARIMA hibrit model	MAE, MSE	-
[59]	Forex, endeks, hisse senedi	2009-11 ve 1980-93,2004-07, 1965-2011	RandomWalk, ANN,Elman ANN, Hibrit	MAE, MSE, SMAPE	-
[60]	Endeks ve ekonomik veriler	1985-2018	ARIMA, LSTM	RMSE	%85>ARIMA
[61]	Petrol üretim verileri		ARIMA, Derin LSTM	RMSE, RMSPE, MAPE	-
[63]	Altın fiyatı	2014-2018	LSTM-CNN hibrit	MAE, RMSE ACC, AUC, SEN SPE AAPE,	-
[64]	Endeks	2015-2019	CNN	RMSE,Accuracy ErrorPersantage	-
[12]	Hisse senedi	Haziran 2014-Kasım 2014	CNN-slidingwindow, RNN, LSTM, ARIMA		2,36, 8,96, 3,63(CNN)
[62]	Endeks verileri	2014-2018	Prophet, LSTM-BPNN	RMSE	0.04464(LSTM-BPNN)
[65]	Endeks verileri	-	Prophet	MAPE	%6

V. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada birçok zaman serisi tahmin metodu incelenmiş ve her birinin kullanıldığı veri üzerinde göreceli olarak başarılı performans sergilediği görülmüştür. Bazı çalışmalarda klasik tahmin metotları ve diğer yapay zekâ algoritmaları ile veri üzerinde performans karşılaştırması yapılmıştır. Bazı çalışmalarda ise veriyi tahminlemedeki hata payı üzerinden model değerlendirilmiştir. Bazı çalışmalarda uzun vadeli veri tahmini için

modeller oluşturulmuş, bazı çalışmalarda kısa vadeli veya her iki durumu aynı anda sağlayan hibrit modeller kullanılmıştır.

Çalışmada veri tiplerinin bağımlılıkları ve kendilerine has özellikleri gereği tahminlemeye uygunluğu araştırıldı. Bunlardan hisse senedi verileri aynı veya farklı borsalar içindeki farklı hisse senetleriyle bağımlı olduğu, bir hisse senedi verisi ile eğitilen bir modelin farklı hisse senedi verilerinin fiyatlarını oldukça iyi tahmin edebildiği görüldü. Veri seti olarak endeksler birden fazla hisse senedini içerdiği için hisse senetlerinde olduğu gibi ani iniş ve çıkışlara hisse senedi verileri kadar tepki vermezler bu açıdan volatilitesi düşük olan endeks verilerinin tahmin edilmesi diğer menkul kıymetlere göre daha kolaydır. Forex verileri çok sayıda veriye bağımlılık gösterdiği için oldukça yüksek volatiliteye sahip olabilir. Aynı şekilde kripto paralara ait verileri de spekülatif bir finans aracı olarak nitelenebilir. Bu sebeple tahmin modeli oluşturmak endeks verilerine göre daha zordur. Bu açıdan endeksler gibi birden çok verinin ağırlıklandırılması ile elde edilen veriler, aynı veya farklı pazarlar içindeki hisse senetleri veya Forex piyasası gibi büyük, zamana ve birbirine bağımlı hareket eden bir çok veri, bu ilişkileri tespit edebilecek zekaya sahip algoritmalar ile tahminlenebilir. Nitekim incelenen çalışmalar da bunu kanıtlar niteliktedir.

Zaman serisi tahminlemede kullanılan metotlar kapsamında incelenen ve geleneksel bir yöntem olan ARIMA veya diğer adıyla Box-Jenkins metodu sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir. İncelenen çalışmalarda bu metodun başarılı olduğu görülmüştür. ARIMA durağan olmayan zaman serileri üzerinde çalışan kolay anlaşılabilir bir metot olduğu için geleneksel bir model olmasına karşın çalışmalarda görebiliyoruz. Fakat yeni çalışmalarda ilişki keşfi özelliğinden yararlanmak için yapay sinir ağı tabanlı modellerden sıklıkla yararlanıldığını görebiliyoruz. Nitekim incelenen çalışmalar sadece ARIMA ve bir diğeri ARIMA ile sinir ağı modellerin karşılaştırmasını içeriyor. ARIMA standart sapması çok yüksek veya düşük olmayan verilere iyi uyum sağlamıştır. Bazı çalışmalarda veriye sinir ağı tabanlı modellerden bile daha iyi uyum sağlamıştır. Üstel yumuşatma yöntemi kullanılan modeller kısa dönemde modelin iyi tahminler yapabileceğini ortaya koymuştur. Dolayısıyla kısa dönemli ve çok büyük düzensiz hareketlerin olmadığı verilerde bu yöntem veya bu yöntemle hibritlenmiş başka bir yöntem kullanılabilir. Yapay sinir ağları ve sinir ağı tabanlı algoritmalar ARIMA ve üstel yumuşatma ile hibritlendiğinde tek başına kullanıldığından daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Ayrıca incelenen çalışmalarda farklı tipte finansal veriler ile farklı metotlar ve hibrit modeller kullanılmıştır. Bunlardan ARIMA-ANN, ES-BPNN hibrit modeli kısa-orta dönem Forex verileri üzerinde başarılı olmuştur. Ayrıca ANN ile Randomwalkhibrit modeli de kendi başına kullanılan yöntemlerden daha başarılıdır. Buradan ANN diğer modelleri destekleyici niteliktedir. RNN-LSTM veya CNN modelleri ile yapılan çalışmalarda farklı eğitim verileriyle eğitilen modellerin farklı test verilerine uyum sağlayabildiği, derin öğrenmenin özellik çıkarımı özelliği sayesinde modelin farklı tipte zaman serisi verileriyle de iyi performans gösterdiği görülmüştür. Çalışmalardan birinde finansal veri olmayan petrol üretim verileri üzerinde bile CNN modelinin başarılı olduğu görüldü. Bu nedenle çok sayıda veri seti ile derin öğrenme modelleri kullanıldığında aralarındaki ilişkiyi tespit ederek iyi bir öngörü modeli oluşturulabileceği düşünülmektedir. LSTM ve CNN hibrit modelinin hem örüntü tanıma hem de farklı veriler arasındaki ilişkiyi tespit ederek düzensiz sapmaları tahmin edebileceği düşünülmektedir. Bu açıdan bu model geleneksel metotlar ile tahmin edilmesi zor olan kısa, orta veya uzun vadeli veriler için tercih edilebilir. İncelenen çalışmalar arasında Facebook Prophet algoritması kullanılan çalışmalarda tek başına veya başka modellerle hibrit olarak kullanıldığında hisse senedi, endeks ve kripto para-rezerv para parite tahminlemelerinde başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Modeller çok farklı değerlendirme kriterlerine göre değerlendirilmiştir fakat en fazla kullanılan yöntemler RMSE ve MSE/MAPE'dir. Uzun vadeli finansal seri tahminlerinde bu metrikler oldukça büyüyebilir. Bu nedenle R2 metriği kullanılması önerilebilir.

Yapılan bu inceleme çalışması hangi tip verilerle hangi modellerin kullanılabilmesi hakkında faydalı bilgiler sunmaktadır. İleride yapılacak çalışmalarda bu derleme kapsamında incelenen yöntemlerin kullanılması önerilebilir, bu çalışmalar yapılacak olan çalışmaya referans olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] 'Fundamental Analysis' (2012) in *The Sector Strategist*. John Wiley & Sons, Ltd, 163–184. doi:10.1002/9781119205333.ch9.
- [2] 'Technical Analysis: Welcome To Technical Analysis' (2012) in *Invest in Penny Stocks*. John Wiley & Sons, Ltd,
- [3] Ponsi (ed.) (2016) 'The Dow Theory', in *Technical Analysis and Chart Interpretations*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 19–26. doi:10.1002/9781119204800.ch4.

- [4] ‘The Dow Theory’ (2016) in *Technical Analysis and Chart Interpretations*. John Wiley & Sons, Ltd, 19–26. doi:10.1002/9781119204800.ch4.
- [5] Bustos, O. & Pomares-Quimbaya, A. (2020) ‘Stock market movement forecast: A Systematic review’, *Expert Systems with Applications*, 156, 113464–113464. doi:10.1016/j.eswa.2020.113464.
- [6] Puschmann, T. (2017) ‘Fintech’, *Business & Information Systems Engineering*, 59(1), 69–76. doi:10.1007/s12599-017-0464-6.
- [7] Oleksiuk, A. (2019) ‘Machine Learning Use Cases in Banking and Finance’, *Intellias* [Preprint]. Available at: <https://intellias.com/5-use-cases-of-machine-learning-in-fintech-and-banking/>.
- [8] Ltd, F.M.I.G. and C.P. (2022) *AI in Fintech Market to Reach US\$ 54 Billion, Globally, by 2032 at 16.5% CAGR: Future Market Insights, Inc., GlobeNewswire News Room*. Available at: <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/06/10/2460623/0/en/AI-in-Fintech-Market-to-Rreach-US-54-Billion-Globally-by-2032-at-16-5-CAGR-Future-Market-Insights-Inc.html> (Accessed: 12 June 2022).
- [9] Harvey, A. (2016) ‘Trend Analysis’, in *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*. John Wiley & Sons, Ltd, 1–21. doi:10.1002/9781118445112.stat07817.pub2.
- [10] Gulve, A. (2020) ‘Everything about Components of Time Series: Part-1’, *Medium*, 10 April. Available at: <https://aishwaryagulve97.medium.com/everything-about-components-of-time-series-part-1-7476fb521477> (Accessed: 7 January 2022).
- [11] *Fig. 3 Time series graphs with random, seasonal and trend components in...* (no date) *ResearchGate*. Available at: https://www.researchgate.net/figure/Time-series-graphs-with-random-seasonal-and-trend-components-in-cluster-1_fig1_268153169 (Accessed: 19 January 2022).
- [12] Selvin, S. et al. (2017) ‘Stock price prediction using LSTM, RNN and CNN-sliding window model’, *2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI 2017*, 2017-January, 1643–1647. doi:10.1109/ICACCI.2017.8126078.
- [13] *Stocks / Investor.gov* (no date). Available at: <https://www.investor.gov/introduction-investing/investing-basics/investment-products/stocks> (Accessed: 13 June 2022).
- [14] Marquit, M. (2021a) *Investing Basics: What Are Dividends?*, *Forbes Advisor*. Available at: <https://www.forbes.com/advisor/investing/what-is-dividend/> (Accessed: 13 June 2022).
- [15] Ögel, S. & Fındık, M. (2020) ‘Farklı Kitalarda Yer Alan Borsa Endekslerinin Vix(Korku) Endeksi İle İlişkisi’, *KocatepeİİBF Journal*, 22(1), 127–140.
- [16] Schich, S. (2004) ‘European stock market dependencies when price changes are unusually large’, *Applied Financial Economics*, 14(3), 165–177. doi:10.1080/0960310042000187360.
- [17] Sezer, O.B., Gudelek, M.U. and Ozbayoglu, A.M. (2020) ‘Financial time series forecasting with deep learning: A systematic literature review: 2005–2019’, *Applied Soft Computing Journal*, 90, 106181–106181. doi:10.1016/j.asoc.2020.106181.
- [18] Kumar, R. (2014) ‘Chapter 5 - Stock Markets, Derivatives Markets, and Foreign Exchange Markets’, in Kumar, R. (ed.) *Strategies of Banks and Other Financial Institutions*. San Diego: Academic Press, 125–164. doi:10.1016/B978-0-12-416997-5.00005-1.
- [19] ‘What Is A Stock Market Index? – Forbes Advisor’ (no date). Available at: <https://www.forbes.com/advisor/investing/stock-market-index/> (Accessed: 13 June 2022).
- [20] Tretina, K. (2021) *Investing Basics: What Is A Market Index?*, *Forbes Advisor*. Available at: <https://www.forbes.com/advisor/investing/stock-market-index/> (Accessed: 13 June 2022).
- [21] Marquit, M. (2021b) *What Is The VIX Volatility Index?*, *Forbes Advisor*. Available at: <https://www.forbes.com/advisor/investing/vix-volatility-index/> (Accessed: 13 June 2022).
- [22] *ARIMA Models - Demand- Driven Forecasting - Wiley Online Library* (no date). Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118691861.ch7> (Accessed: 13 June 2022).
- [23] Miller, D.M. & Williams, D. (2003) ‘Shrinkage estimators of time series seasonal factors and their effect on forecasting accuracy’, *International Journal of Forecasting*, 19(4), 669–684. doi:10.1016/S0169-2070(02)00077-8.
- [24] Hyndman, R.J., Hyndman, & Rob (2004) ‘The interaction between trend and seasonality’, *International Journal of Forecasting*, 20(4), 561–563.
- [25] *Time Series: Understanding Changes Over Time - Science Direct* (no date). Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128200254000142> (Accessed: 13 June 2022).

- [26] Newbold, P. & Bos, T. (1989) 'On exponential smoothing and the assumption of deterministic trend plus white noise data-generating models', *International Journal of Forecasting*, 5(4), 523–527. doi:10.1016/0169-2070(89)90007-1.
- [27] Karakaş, E. (2019) 'Çocuk Yoğun Bakım Ünitesine Olan Talebin Zaman Serisi Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi', *European Journal of Science and Technology*, 454–462. doi:10.31590/ejosat.624407.
- [28] Johannet, A. (2010) 'Artificial Neural Network Models', in *Mathematical Models*. John Wiley & Sons, Ltd, 419–443. doi:10.1002/9781118557853.ch14.
- [29] Yildiran, A. & Kandemir, S.Y. (2018) 'Yağış Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini', *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 97–104.
- [30] Dayhoff, J.E. & Deleo, J.M. (1999) 'Conference on Prognostic Factors and Staging in Cancer Management: Contributions of Artificial Neural Networks and Other Statistical Methods Artificial Neural Networks Opening the Black Box'. doi:10.1002/1097-0142(20010415)91:8.
- [31] 'Multilayer Neural Networks and Backpropagation' (2016) in *Fundamentals of Computational Intelligence*. John Wiley & Sons, Ltd, 35–60. doi:10.1002/9781119214403.ch3.
- [32] Broussard, R. *et al.* (2008) 'An artificial neural network based matching metric for iris identification', in, 68120. doi:10.1117/12.766725.
- [33] Wythoff, B.J. (1993) 'Backpropagation neural networks: A tutorial', *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 18(2), 115–155. doi:10.1016/0169-7439(93)80052-J.
- [34] Yazan, E. and Talu, M.F. (2022) 'Yönel Türev Tabanlı Yakınsama Yaklaşımlarının Karşılaştırmalı Analizi', 10.
- [35] Kızrak, A. (2020) 'Comparison of Activation Functions for Deep Neural Networks', *Medium* [Preprint]. Available at: <https://towardsdatascience.com/comparison-of-activation-functions-for-deep-neural-networks-706ac4284c8a>.
- [36] Rhanoui, M. *et al.* (2019) 'Forecasting Financial Budget Time Series: ARIMA Random Walk vs LSTM Neural Network', *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 8, 317–317. doi:10.11591/ijai.v8.i4.pp317-327.
- [37] 'Recurrent Neural Net' (2019) *nerdcoder*, 3 February. Available at: <https://nerdthecoder.wordpress.com/2019/02/03/recurrent-neural-net/> (Accessed: 8 December 2021).
- [38] Hughes, D. & Correll, N. (2016) 'Distributed Machine Learning in Materials that Couple Sensing, Actuation, Computation and Communication'.
- [39] (PDF) *Deep Learning for Daily Peak Load Forecasting-A Novel Gated Recurrent Neural Network Combining Dynamic Time Warping* (no date). Available at: https://www.researchgate.net/publication/330723201_Deep_Learning_for_Daily_Peak_Load_Forecasting-A_Novel_Gated_Recurrent_Neural_Network_Combining_Dynamic_Time_Warping (Accessed: 10 December 2021).
- [40] CS 230 - *Recurrent Neural Networks Cheatsheet* (no date). Available at: <https://stanford.edu/~shervine/teaching/cs-230/cheatsheet-recurrent-neural-networks> (Accessed: 13 June 2022).
- [41] Van Houdt, G., Mosquera, C. & Nápoles, G. (2020) 'A Review on the Long Short-Term Memory Model', *Artificial Intelligence Review*, 53. doi:10.1007/s10462-020-09838-1.
- [42] Hochreiter, S. & Schmidhuber, J. (1997) 'Long Short-Term Memory', *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780. doi:10.1162/neco.1997.9.8.1735.
- [43] Fang, H. *et al.* (2020) 'A LSTM Algorithm Estimating Pseudo Measurements for Aiding INS during GNSS Signal Outages', *Remote Sensing*, 12, p. 256. doi:10.3390/rs12020256.
- [44] Savaş, S. *et al.* (2022) 'Comparison of Deep Learning Models in Carotid Artery Intima-Media Thickness Ultrasound Images: CAIMTUSNet', *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 15(1), 1–12. doi:10.17671/gazibtd.804617.
- [45] Firildak, K. & Talu, M.F. (no date) 'Evrşimsel Sinir Ağlarında Kullanılan Transfer Öğrenme Yaklaşımlarının İncelenmesi', 8.
- [46] *Convolutional neural networks for time series forecasting | Python for Finance Cookbook* (no date). Available at: <https://subscription.packtpub.com/book/data/9781789618518/10/ch10lv11sec63/convolutional-neural-networks-for-time-series-forecasting> (Accessed: 19 January 2022).
- [47] Alfarzaei, M.S. *et al.* (2020) 'Coal/Gangue Recognition Using Convolutional Neural Networks and Thermal Images', *IEEE Access*, 8, pp. 76780–76789. doi:10.1109/ACCESS.2020.2990200.

- [48] Bhatnagar, S., Ghosal, D. & Kolekar, M.H. (2017) 'Classification of fashion article images using convolutional neural networks', in *2017 Fourth International Conference on Image Information Processing (ICIIP)*. 2017 Fourth International Conference on Image Information Processing (ICIIP), 1–6. doi:10.1109/ICIIP.2017.8313740.
- [49] Savaş, S. (2022) 'Detecting the Stages of Alzheimer's Disease with Pre-trained Deep Learning Architectures', *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(2), 2201–2218. doi:10.1007/s13369-021-06131-3.
- [50] Iqbal, S. *et al.* (2018) 'Brain tumor segmentation in multi-spectral MRI using convolutional neural networks (CNN)', *Microscopy Research and Technique*, 81(4), 419–427. doi:10.1002/jemt.22994.
- [51] Ibrahim, A., Kashef, R. and Corrigan, L. (2021) 'Predicting market movement direction for bitcoin: A comparison of time series modeling methods', *Computers & Electrical Engineering*, 89, 106905. doi:10.1016/j.compeleceng.2020.106905.
- [52] Prophet: forecasting at scale - Meta Research (no date) Meta Research. Available at: <https://research.facebook.com/blog/2017/02/prophet-forecasting-at-scale/> (Accessed: 21 December 2021).
- [53] Mondal, P., Shit, L. & Goswami, S. (2014) 'Study of Effectiveness of Time Series Modeling (Arima) in Forecasting Stock Prices', *International Journal of Computer Science, Engineering and Applications*, 4(2), 13–29. doi:10.5121/ijcsea.2014.4202.
- [54] Yamak, P.T., Yujian, L. & Gadosey, P.K. (2019) 'A Comparison between ARIMA, LSTM, and GRU for Time Series Forecasting', in *Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Algorithms, Computing and Artificial Intelligence*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACAI 2019), 49–55. doi:10.1145/3377713.3377722.
- [55] Lai, K.K. *et al.* (2006) 'Hybridizing Exponential Smoothing and Neural Network for Financial Time Series Predication', in Alexandrov, V.N. *et al.* (eds) *Computational Science – ICCS 2006*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Lecture Notes in Computer Science), 493–500. doi:10.1007/11758549_69.
- [56] Khashei, M. & Bijari, M. (2010) 'An artificial neural network (p, d, q) model for timeseries forecasting', *Expert Syst. Appl.*, 37, 479–489. doi:10.1016/j.eswa.2009.05.044.
- [57] Zhang, G.P. (2003) 'Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model', *Neurocomputing*, 50, 159–175. doi:10.1016/S0925-2312(01)00702-0.
- [58] Babu, C.N. & Reddy, B.E. (2014) 'A moving-average filter based hybrid ARIMA–ANN model for forecasting time series data', *Applied Soft Computing*, 23, 27–38. doi:10.1016/j.asoc.2014.05.028.
- [59] Adhikari, R. & Agrawal, R.K. (2014) 'A combination of artificial neural network and random walk models for financial time series forecasting', *Neural Computing and Applications*, 24(6), 1441–1449. doi:10.1007/s00521-013-1386-y.
- [60] Akbar & Sima, S.N. (2018) 'Forecasting Economics and Financial Time Series: ARIMA vs. LSTM', *arXiv:1803.06386 [cs, q-fin, stat]* [Preprint]. Available at: <http://arxiv.org/abs/1803.06386> (Accessed: 9 December 2021).
- [61] Sagheer, A. & Kotb, M. (2019) 'Time series forecasting of petroleum production using deep LSTM recurrent networks', *Neurocomputing*, 323, 203–213. doi:10.1016/j.neucom. 2018.09.082.
- [62] Fang, W.-X. *et al.* (2019) 'Combine Facebook Prophet and LSTM with BPNN Forecasting financial markets: the Morgan Taiwan Index', in *2019 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*. 2019 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS), 1–2. doi:10.1109/ISPACS48206.2019.8986377.
- [63] Livieris, I.E., Pintelas, E. & Pintelas, P. (2020) 'A CNN–LSTM model for gold price time-series forecasting', *Neural Computing and Applications*, 32(23), 17351–17360. doi:10.1007/s00521-020-04867-x.
- [64] Li, J. (2021) 'Research on Market Stock Index Prediction Based on Network Security and Deep Learning', *Security and Communication Networks*. Edited by C.-H. Chen, 2021, 1–8. doi:10.1155/2021/5522375.
- [65] Yusof, U.K. *et al.* (2021) 'Financial Time Series Forecasting Using Prophet', in Saeed, F., Mohammed, F., and Al-Nahari, A. (eds) *Innovative Systems for Intelligent Health Informatics*. Cham: Springer International Publishing (Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies), 485–495. doi:10.1007/978-3-030-70713-2_45.