

e- ISSN:2458-7575

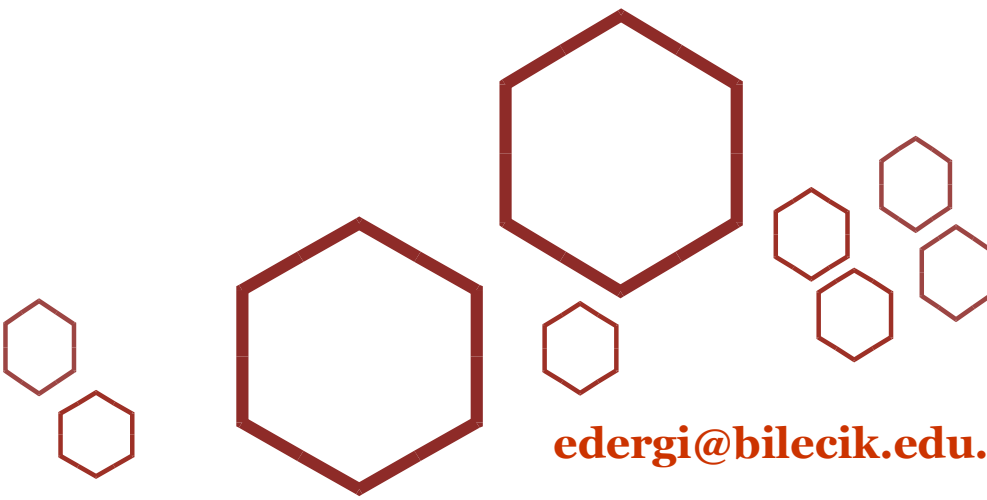
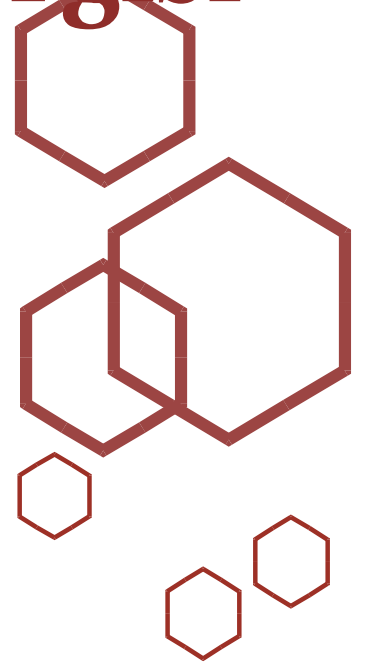
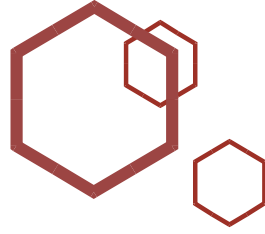


Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

Bilecik Şeyh Edebali University

Journal of Science



edergi@bilecik.edu.tr

Sahibi / Publisher

Prof. Dr. Şükrü BEYDEMİR (Rektör / Rector)

Editör / Editor

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

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Dr. Öğr. Üyesi Emrah DOKUR

Yazı İşleri Müdürü / Editorial Office Director

Mustafa BEKTAŞ

Redaksiyon / Proofreading

Arş.Gör. Damla KILIÇ

Editör Kurulu / Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Doç. Dr. Onur EROĞLU (onur.eroglu@bilecik.edu.tr)
Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

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

Doç. Dr. Parisa GÖKER (parisa.goker@bilecik.edu.tr)
İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Doç. Dr. Tolga YÜKSEL (tolga.yuksel@bilecik.edu.tr)
Elektrik Elektronik Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Editör Kurulu / Editorial Board

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

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

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

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

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

Dr. Öğr. Üyesi Erdem GÜLÜMSER (erdem.gulumser@bilecik.edu.tr)
Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

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

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Tevfik GÜLTAŞ (huseyin.gultas@bilecik.edu.tr)
Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

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

Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan DEMİR (oguzhan.demir@bilecik.edu.tr)
Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Öner Gökmen YILDIZ (ogokmen.yilldiz@bilecik.edu.tr)
Matematik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Öner Rafig GURBANOV (rafig.gurbanov@bilecik.edu.tr)
Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sema LEBLEBİCİ (sema.leblebici@bilecik.edu.tr)
Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

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

Dr. Öğr. Üyesi Veysel ÇOBAN (veysel.coban@bilecik.edu.tr)
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi



Sahibi / Publisher

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

EDİTÖR / EDITOR-IN-CHIEF

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

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 11210 Bilecik, Türkiye
Bilecik Seyh Edebali University, Graduate Education Institute, 11210 Bilecik, Turkey

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

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

Yazı İşleri Müdürü / Editorial Office Director

Mustafa BEKTAŞ

İletişim Bilgileri / Contact Informations

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 11210 Bilecik, Türkiye
Bilecik Seyh Edebali University, Graduate Education Institute, 11210 Bilecik, Turkey

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

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

İletişim Bilgileri/Contact Information: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 11210 Bilecik/Türkiye / Bilecik Seyh Edebali University, Graduate School of Science, 11210 Bilecik/Turkey. e-posta/e-mail: <http://fbe.bilecik.edu.tr/>

Hakem Listesi / Reviewer Board

- Prof. Dr. Ahmet Balkaya / Ondokuz Mayıs Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Bahçe Bitkileri Bölümü / Sebze Yetiştirme ve Islahı Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Ahmet Yaşar Özban / Çankırı Karatekin Üniversitesi / Fen Fakültesi / Matematik Bölümü / Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Ali Fırat Çabalar / Gaziantep Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Geoteknik Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Bülent Keskinler / Gebze Teknik Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği Bölümü / Çevre Mühendisliği Temel Bilimleri Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Celal Çeken / Sakarya Üniversitesi / Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Cihan Karakuzu / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Dudu Duygu Kılıç / Amasya Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Biyoloji Bölümü / Biyoloji Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Elif Dağdemir / Atatürk Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Gıda Mühendisliği Bölümü / Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Erdal Baş / Fırat Üniversitesi / Fen Fakültesi / Matematik Bölümü / Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Ferhan Tümer / Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi / Fen Edebiyat Fakültesi / Kimya Bölümü / Organik Kimya Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Gülşah Çanakçı / Atatürk Üniversitesi / Veteriner Fakültesi / Besin-Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü / Veterinerlik Besin, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Halil Cetişti / Pamukkale Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Kimya Bölümü / Fizikokimya Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Halim Özdemir / Sakarya Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Hanide Büyükgüngör / Ondokuz Mayıs Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği Bölümü / Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Hayrettin Kendir / Ankara Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Tarla Bitkileri Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Hikmet Altunay / Ankara Üniversitesi / Veteriner Fakültesi / Veteriner Hekimliği Temel Bilimleri Bölümü / Veterinerlik Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Hülya Yağar / Trakya Üniversitesi / Fen Fakültesi / Kimya Bölümü / Biyokimya Anabilim Dalı
- Prof. Dr. İlknur Ayan / Ondokuz Mayıs Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Çayır Mera ve Yem Bitkileri Anabilim Dalı
- Prof. Dr. İlknur Bozbey / İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa/Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Geoteknik Anabilim Dalı
- Prof. Dr. İkbal Eski / Erciyes Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Mekatronik Mühendisliği Bölümü / Kontrol Teorisi ve Uygulamaları Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Kemal Aydın / Selçuk Üniversitesi / Fen Fakültesi / Matematik Bölümü / Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Mehtap Kutlu / Eskişehir Teknik Üniversitesi / Fen Fakültesi / Biyoloji Bölümü / Moleküler Biyoloji Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Mevlüt Türk / Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Çayır Mera ve Yem Bitkileri Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Muhammed İbrahim Bahtiyari / Kayseri Erciyes Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Tekstil Mühendisliği Bölümü / Tekstil Bilimleri Anabilim Dalı
- Prof. Dr. Mustafa Kurban / Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi / Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu / Elektronik ve Otomasyon Bölümü / Mekatronik Pr.

Hakem Listesi / Reviewer Board

Prof. Dr. Mustafa Serdar Genç / Erciyes Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü / Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Prof. Dr. Naif Gebeloğlu / Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Bahçe Bitkileri Bölümü / Sebze Yetiştirme ve Islahı Anabilim Dalı

Prof. Dr. Nurcan Çalış Açıkbaş / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Seramik Anabilim Dalı

Prof. Dr. Selahattin Maden / Ordu Üniversitesi / Fen Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı

Prof. Dr. Sıddıka Özkaldı Karakuş / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Geometri Anabilim Dalı

Prof. Dr. Tevfik Küçükömeroğlu / Karadeniz Teknik Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Malzeme Anabilim Dalı

Prof. Dr. Uğur Başaran / Bozok Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Tarla Bitkileri Yetiştirme ve Islahı Anabilim Dalı

Prof. Dr. Yusuf Yaylı / Ankara Üniversitesi / Fen Fakültesi / Matematik Bölümü / Geometri Anabilim Dalı

Prof. Dr. Zekeriya Ataç / Osmangazi Üniversitesi / Mühendislik Mimarlık Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Enerji Anabilim Dalı

Doç. Dr. Ahmet Çay / Ege Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Tekstil Mühendisliği Bölümü / Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı

Doç. Dr. Ahmet Zengin / Sakarya Üniversitesi / Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Ali Çalhan / Düzce Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı

Doç. Dr. Ali Kaya Gür / Fırat Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Malzeme Anabilim Dalı

Doç. Dr. Arif Özkan / Kocaeli Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Biyomedikal Mühendisliği Bölümü / Biyomekanik Anabilim Dalı

Doç. Dr. Aşkın Özocak / Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Bilge Eren / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Meslek Yüksekokulu / Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü / Otomotiv Teknolojisi Pr.

Doç. Dr. Erdem Gülümser / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Endüstri Bitkileri Anabilim Dalı

Doç. Dr. Ergün Ekici / Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü / Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Doç. Dr. Hayreddin Gezegen / Sivas Cumhuriyet Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Fakültesi / Beslenme ve Diyetetik Bölümü / Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı

Doç. Dr. Mahmut Kaplan / Erciyes Üniversitesi / Seyrani Ziraat Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Tarla Bitkileri Anabilim Dalı

Doç. Dr. Murat Babaarslan / Yozgat Bozok Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Geometri Anabilim Dalı

Doç. Dr. Murat Sarduvan / Sakarya Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Matematiğin Temelleri ve Matematik Lojik Anabilim Dalı

Doç. Dr. Nasrettin Genli / Dicle Üniversitesi / Diyarbakır Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu / Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü / Kimya Teknolojisi Pr.

Hakem Listesi / Reviewer Board

Doç. Dr. Neşe Üzen / Dicle Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü / Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Doç. Dr. Özlem Türksen / Ankara Üniversitesi / Fen Fakültesi / İstatistik Bölümü / Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı

Doç. Dr. Selçuk Ökdem / Erciyes Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Donanımı Anabilim Dalı

Doç. Dr. Serhat Yılmaz / Kocaeli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü / Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Serkan Islak / Kastamonu Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Malzeme Anabilim Dalı

Doç. Dr. Servet Hasgöl / Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü / Üretim ve Servis Sistemleri Anabilim Dalı

Doç. Dr. Tolga Yasa / Eskişehir Teknik Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doç. Dr. Tolga Yüksel / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü / Kontrol ve Kumanda Sistemleri Anabilim Dalı

Doç. Dr. Utkan Mutman / Kocaeli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Geoteknik Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Adem Sarıhan / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Meslek Yüksekokulu / Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü / Peyzaj ve Süs Bitkileri Pr.

Dr. Öğr. Üyesi Ali Çelik / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Seramik Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Aslı Ergenekon Arslan / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Meslek Yüksekokulu / Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü / Üretimde Kalite Kontrol Pr.

Dr. Öğr. Üyesi Barış Gökçe / Necmettin Erbakan Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi / Mekatronik Mühendisliği Bölümü / Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Bilal Ervural / Necmettin Erbakan Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü / Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Burak Öztürk / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Üretim Metalurjisi Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Bünyamin Özgeriş / Erzurum Teknik Üniversitesi / Fen Fakültesi / Temel Bilimler Bölümü / Temel Bilimler Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Cihan Kuru / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Malzeme Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Dilek Kandemir / Ondokuz Mayıs Üniversitesi / Samsun Meslek Yüksekokulu / Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü / Seracılık Pr.

Dr. Öğr. Üyesi Egemen Foto / Necmettin Erbakan Üniversitesi / Fen Fakültesi / Biyoteknoloji Bölümü / Biyoteknoloji Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Emine Serap Kızıl Aydemir / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Çayır Mera ve Yem Bitkileri Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Erhan Bergil / Amasya Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü / Biyomedikal Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Eyyüb Karakan / Kilis 7 Aralık Üniversitesi / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Geoteknik Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Apaydın / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Üretim Metalurjisi Anabilim Dalı

Hakem Listesi / Reviewer Board

- Dr. Öğr. Üyesi Gamze Bayram / Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Çayır Mera ve Yem Bitkileri Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi Gözde Koca / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi / İşletme Bölümü / Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi Gürhan Ertaşgın / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik Makineleri ve Güç Elektroniği Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi Hasan Akay / On Dokuz Mayıs Üniversitesi / Bafra Meslek Yüksek Okulu / Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü / Biyomedikal Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi Hasan Fırat Pulat / İzmir Katip Çelebi Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Geoteknik Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Hilal Kahveci / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi / İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü / İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi Işıl Yazar / Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Eskişehir Meslek Yüksek Okulu / Elektronik ve Otomasyon Bölümü / Makatronik Pr.
- Dr. Öğr. Üyesi İdil Işıklı Esener / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Devreler ve Sistemler Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi İlyas Kaçar / Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Mekatronik Mühendisliği Bölümü / Makine ve Tasarım Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi Kadriye Ergün / Balıkesir Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü / Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi Kerim Kürşat Çevik / Akdeniz Üniversitesi / Manavgat Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi / Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü / Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi Mahmur Uç / Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi / Kaynarca Seyfettin Selim Meslek Yüksek Okulu / Bilgisayar Teknolojileri Bölümü / Bilgisayar Programcılığı Pr.
- Dr. Öğr. Üyesi Medine Çopur Doğrusöz, Yozgat Bozok Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Tarla Bitkileri Yetiştirme ve Islahı Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Aydın / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi / Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü / Endüstri Ürünleri Tasarımı Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kayakuş / Akdeniz Üniversitesi / Manavgat Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi / Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü / Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Koç / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Devreler ve Sistemler Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi Melike Bilgi Kamaç / Çankırı Karatekin Üniversitesi / Eldivan Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu / Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü / Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Pr.
- Dr. Öğr. Üyesi Menderes Kam / Düzce Üniversitesi / Dr. Engin Pak Cumayeri Meslek Yüksekokulu / Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü / Makine Pr.
- Dr. Öğr. Üyesi Murat Tören / Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik Makineleri Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi Musa Özkan / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Enerji Anabilim Dalı
- Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Nil / Manisa Celal Bayar Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü / Kontrol ve Kumanda Sistemleri Anabilim Dalı

Hakem Listesi / Reviewer Board

Dr. Öğr. Üyesi Nazım İmal / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik Makineleri ve Güç Elektroniği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Nejan Huvaj Sarhan / Orta Doğu Teknik Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan Erbaş / Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Enerji Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Onur Doğan / İzmir Bakırçay Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü / Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Osman Alagöz / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Analiz ve Fonksiyonlar Teorisi Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Osman Turan / Bursa Teknik Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Termodinamik Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Önder İdil / Amasya Üniversitesi / Eğitim Fakültesi / Temel Eğitim Bölümü / Okul Öncesi Eğitimi Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Özlem Candan Hergül / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi / İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü / İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Özüm Eğilmez / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi / İşletme Bölümü / Yönetim ve Organizasyon Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Rafiğ Gurbanov / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü / Moleküler Biyoloji Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Remzi İnan / Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Rena Hüseyinoğlu / Giresun Üniversitesi / Şebinkarahisar Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu / Gıda Teknolojisi Bölümü / Gıda Teknolojisi Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Selahattin Budak / Gümüşhane Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Malzeme Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Selami Balcı / Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik Makineleri Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Sema Leblebici / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü / Biyoteknoloji Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Serdar Özyön / Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Serkan Öztürk / Erciyes Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Donanımı Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Sevil Aksu / Akdeniz Üniversitesi / Fen Fakültesi / Kimya Bölümü / Biyokimya Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Sibel Ünalı / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi/Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü / Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Sinan Başaran / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Makine Teorisi ve Dinamiği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Sinan Temel / Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi / Meslek Yüksekokulu / İnşaat Bölümü / İnşaat Teknolojisi Pr.

Hakem Listesi / Reviewer Board

Dr. Öğr. Üyesi Sinem Tunçer / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu / Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü / Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Pr.

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Uzun / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Donanımı Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Şenay Korkut / Yıldız Teknik Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü / Moleküler Biyoloji Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Veysel Çoban / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Endüstri Mühendisliği Bölümü / Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemleri Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Volkan Ramazan Akkaya / Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü / Termik Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Yadigar Şekerci Fırat / Amasya Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin Önal / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik Makineleri ve Güç Elektroniği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Züleyha Bingül / Iğdır Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği Bölümü / Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Abdulgani Devlet / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Tarla Bitkileri Bölümü / Endüstri Bitkileri Anabilim Dalı

Dr. Ahmet Şenocak / Gebze Teknik Üniversitesi / Temel Bilimler Fakültesi / Kimya Bölümü / Fizikokimya Anabilim Dalı

Dr. Asuman Ünal / Çankırı Karatekin Üniversitesi / Fen Fakültesi / Kimya Bölümü / Analitik Kimya Anabilim Dalı

Dr. Ayşe Özkal / Pamukkale Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Tekstil Mühendisliği Bölümü / Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı

Dr. Emrah Haspolat / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı

Dr. Mehmet Alper Sofuoğlu / Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Mekanik Anabilim Dalı

Dr. Süreyya Oğuz Tümay / Gebze Teknik Üniversitesi / Temel Bilimler Fakültesi / Kimya Bölümü / Analitik Kimya Anabilim Dalı

Dr. Tuğba Yurdakadim / Hitit Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Analiz ve Fonksiyonlar Teorisi Anabilim Dalı

Öğr. Gör. Murat Özalp / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Söğüt Meslek Yüksekokulu / Bilgisayar Teknolojileri Bölümü / Bilgisayar Programcılığı Pr.

İÇİNDEKİLER

Conformable Derivative Approach to Gross Domestic Product Model with Real Data of World Bank <i>Ramazan Özarlan</i>	1-9
Sürdürülebilir Üretim için Grafit Takviyeli Polipropilen Kompozit Ürünlerin Bazı Termal ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel Analizi <i>Ömer Şengül, Musa Şeremet, Menderes Kam</i>	10-20
Ruled Surfaces With W-direction Curves <i>İlkay Arslan Güven</i>	21-33
Bölgesel-Evrişimsel Sinir Ağları ile Retina Görüntülerindeki Lezyonların Tespiti <i>Süleyman Uzun</i>	34-46
Doğadan Toplanan Festuca valesiaca L. Genotiplerinde Morfolojik Farklılığın Belirlenmesi <i>Damla Pınar, Mehmet Ali Avcı</i>	47-53
Temporal Response of Predator-Prey System with the Allee Effect <i>Yadigar Şekerci</i>	54-65
Türkiye'deki Enerji Dağıtım Şirketlerinin Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi <i>Ezgi Güler, Süheyla Yerel Kandemir, Emin Açıklalp</i>	66-79
Bir Konut İçin Isıtma Konseptinin Termodinamik Analizi <i>Adem Avcı, Oğuz Arslan</i>	80-90
Üçgensel Matris Halkalarında İnvolutifler <i>Tuğba Petik, Leman Hoccoğlu, Halim Özdemir</i>	91-103
YAYsim: Salgın Modelleme ve Karar Destek Sistemi <i>Mustafa Demirbilek</i>	104-112
Artırılmış Atıksu Uygulamalarının Üç Farklı Mısır (Zea Mays L.) Çeşidinin Çimlenme ve Fide Gelişim Özelliklerine Etkisi <i>Yusuf Murat Kardeş, Murat Karaer, Özge Doğanay Erbaş Köse, Zeki Mut</i>	113-120
Bilecik Doğal Florasından Toplanan Bituminaria bituminosa (L.) C.H. Stirtion Genotiplerinin Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi <i>Hanife Mut, Erdem Gülümser, Medine Çopur Doğrusöz, Uğur Başaran</i>	121-128
Comparison of Serial and Parallel Programming Performance in Outlier Detection with DBSCAN Algorithm <i>Hüseyin Yaşar, Mehmet Albayrak</i>	129-140
Yüksek İç Fazlı Emülsiyon Kalıplama ile Metakrilat Esaslı Küresel Polimerlerin Hazırlanması <i>Funda Çıra, E. Hilal Mert, Burcu Kekevi</i>	141-151
Synthesis and Characterization of Co-Doped SnO₂ Samples <i>Tankut Ateş, Ömer Kaygılı, Niyazi Bulut, H.E. Okur, Serhat Keser, I.S. Yahia, Süleyman Köytepe, Turgay Seçkin, İmren Özcan, Turan İnce</i>	152-160
İsoindolsüstitü-kalkon Türevlerine İyot Katalizli Tiyofenol Katılması <i>Yakup Budak, Ahmet Doğan Çakır, Oğuz Özbek, Meliha Burcu Gürdere, Mustafa Ceylan</i>	161-169
Endüstriyel IoT Bulut Uygulamaları için Düşük Maliyetli Modbus/MQTT Ağ Geçidi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi <i>Hamdi Erdoğan, Kerem Küçük, Sajjad Ahmad Khan</i>	170-183

Açısal Duruş Kontrolü Destekli Özgün bir Dinamik Pencere Yaklaşımı <i>Suat Karakaya, Hasan Oçak</i>	184-200
İndirgenmiş Grafen Oksit/Çinko Oksit Kompozitlerin Üretimi ve Süper Kapasitör Uygulamaları <i>Ayça Tanrıverdi</i>	201-210
The Transfection of HepG2 cells with Truncated β-Catenin Coding Expression Vector <i>Oğuzhan Karaosmanoğlu</i>	211-220
Edirne Koşullarında Farklı Azot Dozu Uygulamalarının Sorgum x Sudan Otu (Sorghum bicolor (L.) Moench x Sorghum sudanense (Piper) Stapf) Melez Çeşitlerinin Verim ve Bazı Kalite Özelliklerine Etkileri <i>Murat Atalay, Ertan Ateş</i>	221-230
Çinko-Demir Kapsül Elektrot Yüzeyindeki Poli (anilin-co-pirol) ve Poli (anilin-co-N-metilpirol) Kopolimerlerin Korozyon Performansı <i>Abdurrahman Akdağ</i>	231-238
Konser Salonu Akustik Koşullarının Değerlendirilmesi: Adana Büyükşehir Belediyesi Konser Salonu Örneği <i>Okan Şimşek</i>	239-250
Plazma Transferli Ark (PTA) Yöntemi ile Üretilen WC Kompozit Kaplamalarda Enerji Girdisinin Mikroyapısal ve Tribolojik Özelliklere Etkisi <i>Koray Kılıçay</i>	251-264
Bazı Ultranormlu Uzaylar ve İzomorfikliği <i>İbrahim Şanlıbaba</i>	265-272
Some Notes on Covariance Matrices of Predictors under two SUR Models <i>Nesrin Güler, Nevin Yüce</i>	273-281
A Data Mining Case Study Over Fuel Sales Automation Data <i>İlhan Tarımer, Buse Cennet Karadağ</i>	282-296
Keten Kumaşların Isırgan Otu ile Boyanabilirliğinin İncelenmesi <i>Fazlıhan Yılmaz</i>	297-305
An Experimental Study to Determine the Relationship Between Power Factor and Harmonic Distortion in Single-Phase AC Voltage Controller <i>Muhammed Reşit Çorapsız, Hakan Kahveci, Muhammed Fatih Çorapsız</i>	306-318
Genelleştirilmiş Sylvester Transpoz Matris Denklemine Simetrik – Ters Simetrik Ayırışım Metodu ile Çözümü <i>Murat Sarduvan, Esra Kaplan</i>	319-328
Yeni bir Sıvı Membran Sistemi (ÇDSM) ile Ağır Metal İyonlarının Ekstraksiyonu <i>Kadriye Esen Erden, Ramazan Donat</i>	329-341
Art Arda Yerleştirilmiş Eş Sıcaklıktaki İki Silindir Etrafında Akış ve Isı Geçişi <i>Zerrin Sert, Çisil Timuralp</i>	342-353
Farklı Ultrasonik Ses Dalgası Uygulamalarının Solanum torvum Tohumlarındaki Çimlenme ve Çıkış Değerleri Üzerine Etkisi <i>Murat Demirsoy, Metin Aydın, Burak Gürbüz</i>	354-362

Uzun Kemik Kırıkları İçin Yeni Bir Sabitleyici Çivi Geliştirilmesi <i>Mustafa Soylak</i>	363-369
IoT Tabanlı Platform ile Gerçek Zamanlı İç Ortam Hava Kalitesi İzleme Sistemi <i>Hakan Üçgün, Fatmanur Gömbeci, Uğur Yüzgeç, Nesibe Yalçın</i>	370-381
Determination of Total Antioxidant Capacities in Turkish and Filter Coffee Samples by Electrochemical Methods <i>Sevinç Yıldırım, Ersin Demir, İlkey Gök</i>	382-393
An Interleaved Super Lift Luo Converter Design for Aircraft Applications <i>Gürhan Ertaşgın</i>	394-403
Sualtı Haberleşmede Çok Yolluluğun Bant Genişliği, Kapasite ve İletim Gücü Üzerindeki Etkisi <i>Mehmet Ali Çavuşlu, Mehmet Ali Altuncu, Hikmetcan Özcan, Fidan Kaya Gülağz, Suhap Şahin</i>	404-420
Bir Metal Fabrikası İçin İş Çizelgeleme Yazılımı Hazırlanması <i>Tuğçe Kaçar, Mehmet Onur Olgun</i>	421-443
3B Yazıcı ile Elde Edilen Mandibula Modellerinin Boyutsal Değerlendirilmesi <i>Mehmet Mustafa Erdoğan, Tuğçe Şimşek, Levent Uğur</i>	444-451
Harmonik Sinyallerin Yük Tanımadaki Başarısının İncelenmesi ve Yeni Bir Model Önerisi <i>Emre Akarşlan, Rasim Doğan</i>	452-460
S809 Kanat Profili Etrafındaki Sınır Tabaka Akışının Emme Tekniği ile Aktif Kontrolünün Sayısal İncelenmesi <i>Gurbet Çankaya, Onur Erkan, Musa Özkan</i>	461-472
Mercimek Proteini İzolatı ve Unu Kullanılarak Bitkisel Bazlı Fırıncılık Ürünlerinin Geliştirilmesi <i>Burcu Utku, Arya Deniz Ayan, Zeynep Saliha Güneş, Aslı Can Karaça</i>	473-483
Normal Konsolide Kaolin Kilinin Drenajsız Kesme Davranışı Üzerinde Başlangıç Kayma Gerilmesinin Etkisi <i>Uğur Dağdeviren, Zeki Gündüz</i>	484-496
Bitki Proteomik Çalışmalarında Kullanılan Yaklaşımlar ve Uygulama Yöntemleri <i>Aslihan Günel, Semra Hasançebi, Talat Yalçın, Mahmut Emir, Yahya Emin Demirci, Melike Dinç, Melda Zeynep Güray</i>	497-528
Mikoriza ve Fungusit Uygulamalarının Domates Bitkisinin Bazı Büyüme ve Gelişim Parametreleri Üzerine Etkisi <i>Tuğba Özbucak, Döndü Kabul, Öznur Ergen Akçin</i>	529-543

Araştırma Makalesi - Research Article

Dünya Bankası Reel Verileri İle Gayri Safi Yurtiçi Hasıla Modeline Conformable Türev Yaklaşımı

Ramazan Özarslan^{1*}

Geliş / Received: 31/10/2019

Revize / Revised: 25/03/2020

Kabul / Accepted: 13/04/2020

ÖZ

Bu çalışmada, conformable türev yardımıyla gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) modelini ele alıyoruz. Conformable GSYİH modelinin analitik çözümünü elde ediyor ve sonuçları, 1960-2018 yılları arasında Dünya Bankası'ndan [20] alınan Kore Cumhuriyeti, Avrupa Birliği ve Amerika Birleşik Devletleri'nin reel verilerini göz önüne alarak tam mertebeden GSYİH modeliyle, simülasyonlar ve hata analizleri yardımıyla karşılaştırıyoruz.

Anahtar Kelimeler- *Conformable türev, Gayri safi yurtiçi hasıla modeli, Reel veriler, Hata analizi*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ozarslanramazan@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-2275-8061>)
Matematik Bölümü, Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Elazığ, Türkiye

Conformable Derivative Approach to Gross Domestic Product Model with Real Data of World Bank

ABSTRACT

In this study, we consider gross domestic product (GDP) model within conformable derivative. In view of real data from the Republic of Korea, the European Union and the United States of America taken from World Bank [20] between 1960-2018 by simulations and error analysis, we obtain an analytical solution of the conformable GDP model and compare the findings with the integer order GDP model.

Keywords- Conformable derivative, Gross domestic product model, Real data, Error analysis

I. INTRODUCTION

Conformable derivative was firstly defined by Khalil et al. [1]. This newly defined derivative is a local derivative and a different type of ordinary derivative. Conformable derivative of order α is defined by,

$$T_a^\alpha f(t) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{f(t + \varepsilon t^{1-\alpha}) - f(t)}{\varepsilon}. \quad (1)$$

However, it has similar properties with ordinary derivative. Some of them are the product derivative of two functions and the quotient derivative of two functions. The fact that conformable derivative exhibits similar properties to the ordinary derivative has attracted the attention of many scientists. Abdeljawad [2], Atangana et al.[3] made the first studies about conformable derivatives. Some of the Conformable Derivative Applications are given by [4-6].

Another conformable derivative definition was given by Katugampola [7]. It is defined as;

$$T_a^\alpha f(t) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{f(te^{\varepsilon t^{-\alpha}}) - f(t)}{\varepsilon}. \quad (2)$$

It was analyzed in detail by Anderson and Ulness [8]. This type of conformable derivative has the same properties as the conformable derivative mentioned above.

Mathematical models are used to determine the future of the systems in the real world. Ordinary derivative of the first order defines the rate of change in time.

Due to this new characteristic property of the ordinary derivative, it is used to establish fundamental mathematical models such as linear and exponential, but in recent years new types of derivatives have been established, some of them being Caputo, Atangana-Baleanu [9], Caputo-Fabrizio [10], conformable[1-3] etc. With this new type of derivatives, mathematical models with ordinary derivatives were reconsidered and the aim was to fit real data, and hence to be able to predict the future of real world applications more accurately than integer order equivalents, cf. [11-19].

The Gross Domestic Product (GDP) is the total number of goods produced in a country and indicates the economic growth of the country. It is considered to determine the economic standard of living of a country. GDP enables increases or declines in the amount of economic output over various times to be evaluated.

The mathematical model of GDP determines a country's economic growth rate. It is given in the following form,

$$S'(t) = kS(t). \quad (3)$$

In this study, we consider the GDP model using conformable derivative with real data from the Republic of Korea, European Union and the United States from the World Bank [20] between the years 1960-2018. We compare the classical GDP model with conformable derivative by using real data. Results show that for the GDP model on fitting real data, conformable derivative is more successful than an integer order counterpart.

II. PRELIMINARIES

We give some necessary notations, definitions and lemmas related to conformable theory, cf. [1, 2, 8].

Definition 2.1. [1,2] Let $f : (0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ and $t > 0$. Then the conformable derivative of f of order $0 < \alpha \leq 1$ is defined by,

$$T_a^\alpha f(t) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{f(t + \varepsilon(t-a)^{1-\alpha}) - f(t)}{\varepsilon}. \quad (4)$$

Theorem 2.2. [1] If a function $f : [0, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$ is α -differentiable at $a > 0, \alpha \in (0, 1]$, then f is continuous at a .

Theorem 2.3. [1, 2] Let $\alpha \in (0, 1]$ and f, g be α -differentiable at a point $t > 0$. Then,

- i. $T_a^\alpha(C) = 0$, for all constant functions, $f(t) = C$;
- ii. $T_a^\alpha(t^n) = nt^{n-\alpha}$ for all $n \in \mathbb{R}$;
- iii. $T_a^\alpha[af + bg] = aT_a^\alpha[f] + bT_a^\alpha[g]$ for all $a, b \in \mathbb{R}$;
- iv. $T_a^\alpha[fg] = fT_a^\alpha[g] + gT_a^\alpha[f]$;
- v. $T_a^\alpha\left[\frac{f}{g}\right] = \frac{gT_a^\alpha[f] - fT_a^\alpha[g]}{g^2}$;
- vi. $T_a^\alpha[fog](t) = f'(g(t))T_a^\alpha g(t)$, for f differentiable at $g(t)$.

If, in addition, f is differentiable, then $T_a^\alpha(f)(t) = t^{1-\alpha} \frac{df}{dt}(t)$.

Theorem 2.4. [1] Let $a, n \in \mathbb{R}$ and $\alpha \in (0, 1]$. Then we have the following results.

- i. $T_a^\alpha(1) = 0$,
- ii. $T_a^\alpha(e^{ax}) = ax^{1-\alpha} e^{ax}$,
- iii. $T_a^\alpha(\sin ax) = ax^{1-\alpha} \cos ax$,
- iv. $T_a^\alpha(\cos ax) = -ax^{1-\alpha} \sin ax$,
- v. $T_a^\alpha\left(\frac{1}{\alpha} t^\alpha\right) = 1$.

It is easy to see from part (vi) of Theorem 2.3.

Theorem 2.5. [1] Let $\alpha \in (0, 1]$ and $t > 0$. Then,

- i. $T_a^\alpha\left(e^\wedge \frac{\lambda t^\alpha}{\alpha}\right) = \lambda e^\wedge \frac{t^\alpha}{\alpha}$.
- ii. $T_a^\alpha\left(\sin\left(\frac{1}{\alpha} t^\alpha\right)\right) = \cos\left(\frac{1}{\alpha} t^\alpha\right)$,
- iii. $T_a^\alpha\left(\cos\left(\frac{1}{\alpha} t^\alpha\right)\right) = -\sin\left(\frac{1}{\alpha} t^\alpha\right)$.

Theorem 2.6. [1] Let $\alpha \in (0,1)$ and $t > 0$. Then, conformable integral is defined as follows

$$(I_a^\alpha f)(x) = \int_a^x f(t) d_\alpha(t) = \int_a^x f(t)(t-a)^{\alpha-1} dt. \quad (5)$$

III. MAIN RESULTS

In this section, we consider conformable GDP model with real data of Republic of Korea, European Union and the United States from World Bank [20] between the years 1960-2018, and we compare the classical GDP model with conformable derivative by using real data. We analyze results by means of error sum of squares (SSE).

$$SSE = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - y_i)^2}{N}, \quad (6)$$

here N is data number, x_i is given real data and y_i is estimated data obtained by differential models. Then, we analyze efficiency of models with residual sum of squares

$$Efficiency = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \times 100, \quad (7)$$

here ε_i is error margin. Results show that for the GDP model on fitting real data, conformable derivative is more efficient than an integer order counterpart.

A. Gross Domestic Product Model With Conformable Derivative

The GDP is one of the most important statistical methods for economical measurement determining the performance of countries' economy. If we consider GDP model within conformable derivative,

$$T^\alpha S(t) = kS(t), \quad (8)$$

then its analytical solution is given by

$$S(t) = ce^{\frac{kt^\alpha}{\alpha}}. \quad (9)$$

Here $S(t)$ is the change in GDP in time, c is a constant, k is a constant which has a dimension of $time^{-\alpha}$. We take into account real GDP data Republic of Korea, European Union and United States of America from World Bank [20] between the years 1960-2018.

B. Discussions of Conformable Gross Domestic Product Model With Real Data

In this section, we consider conformable GDP model (2) and integer order GDP model (1) with real data of Republic of Korea, European Union and United States of America from World Bank [20] between the years 1960-2018. Obtained results are compared with each other. Error analysis and efficiency of models are given in tables 1-2-3 and analytical solutions with optimum parameters are compared with real data in figures 1-2-3. Wolfram Mathematica 11 (Wolfram Research, Inc.) is used for calculations and simulations.

Table 1. Optimum parameters for GDP of Republic of Korea and error analysis

Republic of Korea	k	α	SSE	Efficiency (%)
Integer Order Model	0.0936555		$1.56003 \cdot 10^7$	91.2547
Conformable Model	0.303153	0.562142	$3.00891 \cdot 10^6$	98.3132

Table 2. Optimum parameters for GDP of European Union and error analysis

European Union	k	α	SSE	Efficiency (%)
Integer Order Model	0.0686138		$3.92886 \cdot 10^7$	90.0811
Conformable Model	0.238716	0.523411	$9.26742 \cdot 10^6$	97.6603

Table 3. Optimum parameters for GDP of USA and error analysis

USA	k	α	SSE	Efficiency (%)
Integer Order Model	0.0543405		$3.49351 \cdot 10^7$	96.4515
Conformable Model	0.140229	0.652009	$5.31114 \cdot 10^6$	99.4605

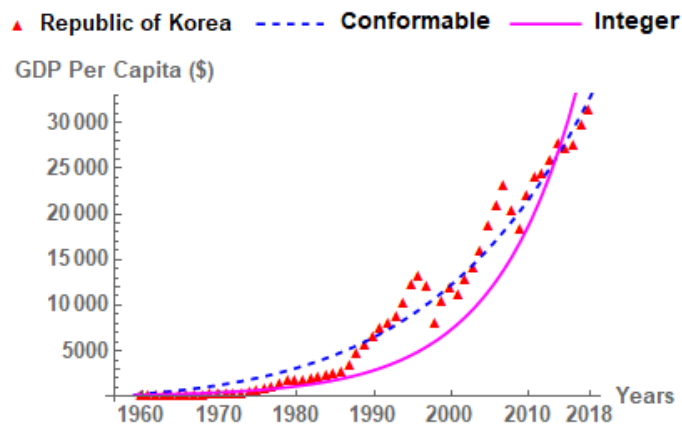


Figure 1. Comparison of models with real data of Republic of Korea

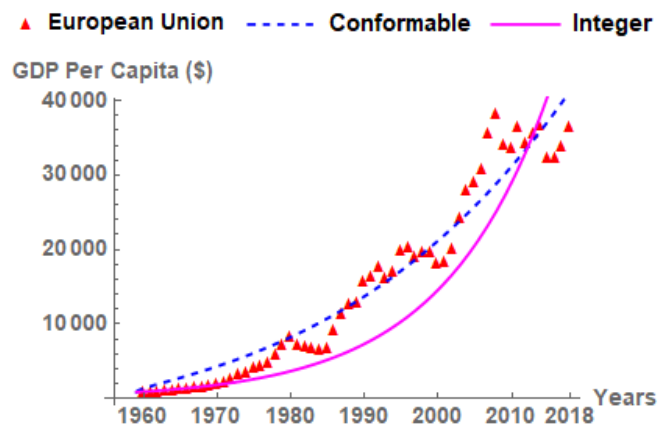


Figure 2. Comparison of models with real data of European Union

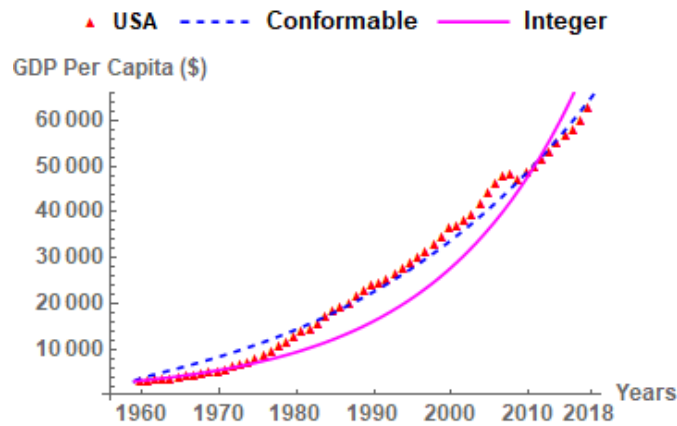


Figure 3. Comparison of models with real data of USA

Table 4. Comparison of models with real data by years

Years	Republic of Korea			European Union			USA		
	Real Data	Conformable	Integer	Real Data	Conformable	Integer	Real Data	Conformable	Integer
1989	5736.9	5675.9	2392.1	22857.1	20766	14539.3	12835.7	12508	6415.2
1999	10409.3	10859.1	6102.7	34513.5	31345.6	25034.7	19673.5	19533.5	12740.8
2000	11947.5	11537.7	6701.9	36334.9	32592.8	26432.7	18250.3	20359.1	13645.7
2003	14209.3	13785.3	8876.1	39496.4	36567.3	31112.9	24306.2	22985.1	16764.5
2009	18291.9	19374.8	15569.3	47099.8	45660.6	43106.2	34035.8	28960.9	25303.6
2016	27608.2	28184	29990.7	20196	58480.1	63057.6	32376.2	37304.2	40904.6
2017	29742.8	29683.1	32935.2	59927.9	60529.6	66579	33873.2	38629.3	43809.8
2018	31362.7	31249.5	36168.8	62641.0	62637.8	70297.1	36546.3	39989.8	46921.2

* shows real data of GDP taken from World Bank [20] between the years 1960-2018.

IV. CONCLUSION

We take into account GDP model with conformable derivative. Obtained results are evaluated by real data of Republic of Korea, European Union and United States of America from World Bank [20] between the years 1960-2018 by means of simulations, error analysis and efficiency.

We observe that the conformable GDP model (2) and integer order model (1) with real data of Republic of Korea in figure 1 and we analyze the results statistically in table 1. We examine the conformable GDP model (2) and integer order model (1) with real data of European Union in figure 2 and error margins and efficiency of models are given in table 2. We analyze that the conformable GDP model (2) and integer order model (1) with real data of United States of America in figure 3 and the results are examined statistically in table 3. Finally, in table 4, we give some real data and the results obtained from conformable and integer order models. From here, the efficiency of the conformable GDP model can be observed to the counterpart of the integer order.

Consequently, results show that conformable derivative is more efficient for the GDP model on fitting real data than integer order counterpart.

REFERENCES

- [1] Khalil, R., Horani, M.A., Yousef, A., & Sababheh, M. (2014). A new definition of fractional derivative. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 264, 65-70.
- [2] Abdeljawad, T. (2015). On conformable fractional calculus. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 279, pp. 57-66.
- [3] Atangana, A., Baleanu, D., & Alsaedi, A. (2015). New properties of conformable derivative. *Open Mathematics*, 13, (1).
- [4] Bas, E., Acay, B., Ozarslan, R. (2019). The price adjustment equation with different types of conformable derivatives in market equilibrium. *AIMS Mathematics*, 4, (3), 805.
- [5] Yusuf, A., Aliyu, A. I., & Baleanu, D. (2018). Soliton solutions and stability analysis for some conformable nonlinear partial differential equations in mathematical physics. *Optical and Quantum Electronics*, 50, (4), 190.
- [6] Ortega, A., Rosales, J. J. (2018). Newton's law of cooling with fractional conformable derivative. *Revista mexicana de física*, 64, (2), 172-175.
- [7] Katugampola, U.N. (2014). A New Fractional Derivative with Classical Properties, arXiv:1410.6535v2.
- [8] Anderson, D. R., Ulness, D. J. (2015). Newly defined conformable derivatives. *Adv. Dyn. Syst. Appl*, 10, (2), 109-137.
- [9] Atangana, A., and Baleanu, D. (2016). New fractional derivatives with nonlocal and non-singular kernel: theory and application to heat transfer model. *Thermal Science*, 20, 757-763.
- [10] Caputo, M., Fabrizio, M., (2015). A new definition of fractional derivative without singular kernel. *Progress in Fractional Differentiation and Applications*, 1, 1-13.
- [11] Qureshi, S., Yusuf, A. (2019). Fractional derivatives applied to MSEIR problems: Comparative study with real world data. *The European Physical Journal Plus*, 134, (4), 171.
- [12] Qureshi, S., Yusuf, A. (2019). Modeling chickenpox disease with fractional derivatives: From caputo to atangana-baleanu. *Chaos, Solitons & Fractals*, 122, 111-118.
- [13] Ozarslan, R., Ercan, A., Bas, E. (2019). Novel Fractional Models Compatible with Real World Problems. *Fractal and Fractional*, 3, (2), 15.
- [14] Bas, E., Ozarslan, R. (2018). Real world applications of fractional models by Atangana-Baleanu fractional derivative. *Chaos, Solitons & Fractals*, 116, 121-125.
- [15] Bas, E., Metin, F. (2013). Fractional singular Sturm-Liouville operator for Coulomb potential. *Advances in Difference Equations*, 2013, (1), 300.
- [16] Bas, E., Metin, F. (2015). Spectral analysis for fractional hydrogen atom equation. *Advances in Pure Mathematics*, 5, (13), 767.
- [17] Almeida, R. (2017). What is the best fractional derivative to fit data?. *Applicable Analysis and Discrete Mathematics*, 11, (2), 358-368.

- [18] Bulut, H., Sulaiman, T. A., & Baskonus, H. M. (2018). Dark, bright optical and other solitons with conformable space-time fractional second-order spatiotemporal dispersion. *Optik*, 163, 1-7.
- [19] Yavuz, M., Yaşkıran, B. (2018). Homotopy methods for fractional linear/nonlinear differential equations with a local derivative operator. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20, (3), 75-89.
- [20] World Bank: World Development Indicators. (2019)
<https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&country=&series=NY.GDP.PCAP.CD&period=#>
Accessed 14 October 2019.

Araştırma Makalesi-Research Article

Sürdürülebilir Üretim için Grafit Takviyeli Polipropilen Kompozit Ürünlerin Bazı Termal ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel Analizi

Ömer Şengül^{1*}, Musa Şeremet², Menderes Kam³

Geliş / Received: 10/02/2020

Revize / Revised: 13/04/2020

Kabul / Accepted: 19/04/2020

ÖZ

Günümüzde, çevreye duyarlı üretim yöntemleri çerçevesinde ve doğal kaynakların ve enerjinin verimli kullanılması, iklim değişikliğine sebep olan salınımların azaltmak için yeni ürünlere ihtiyaç duyulmuştur. Plastik malzemeler günlük hayatımızda önemli yer tutmaktadır. Termoplastik polimer malzemelerden olan polipropilen (PP), otomotiv sanayisi, tekstil ve yiyecek paketlemesi gibi çok geniş kullanım alanlarına sahiptir fakat bazı durumlarda istenilen özellikleri verememektedir. Bu malzemelerin özelliklerini daha iyileştirmek için kompozit malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Sürekli gelişim ve değişim içinde olan kompozit malzemeler; maliyetlerin düşürülmesi, ürünün verimliliğinin ve kalitesinin artırılması gibi birçok avantajlara sahiptir. Plastik malzemelere katkı olarak kullanılan bazı malzemeler plastik kompozit olarak mekanik ve termal özelliklerinde de iyileşmeler meydana getirmektedir. Bu çalışmada, % 1 grafit maddesi ile yaygın olarak kullanılan polipropilen (PP) malzeme ile çift vidalı ekstrüder tezgahında homojen karışımı yapılarak, enjeksiyon makinesinde 100 adet standart test çubuğu üretimi yapılmıştır. Katkısız polipropilen (PP) ile prototipi yapılan ürün ve kompozit ürünün izod darbe testi, eriyik akış indeksi (MFI), ısı deformasyon testi (HDT), sertlik testi (Shore-D), çekme testi ve yoğunluk testleri yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, katkısız polipropilen (PP) ve Grafit katkılı polipropilen (GPP) kompozit malzemenin bazı termal ve mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Sonuç olarak, bu iki malzemenin mekanik özellikleri yaklaşık olarak % 30 üzerinde ve termal özelliklerinde de yaklaşık % 15 üzerinde iyileşme meydana gelmiştir. Mekanik ve termal özelliklerinin iyileştirilmesi ile plastik sektöründe büyük avantajlar sağlayacaktır. Ayrıca, savunma sanayisi, havacılık ve otomotiv sektöründe yeni ürün olarak kullanılabilmesi öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler-Sürdürülebilir Üretim, Polipropilen, Grafit, Mekanik Testler, Termal Testler

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: omersengullll@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-5078-2002>)

Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi

²İletişim: musaseremet@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>)

Hatice Bayraktar Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi

³İletişim: mendereskam@duzce.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9813-559X>)

Makine Metal Teknolojisi, Düzce Üniversitesi Dr. Engin PAK Cumayeri Meslek Yüksek Okulu

Experimental Analysis of Some Thermal and Mechanical Properties of Graphite Reinforced Polypropylene Composite Products for Sustainable Production

ABSTRACT

In this day and age, new products are needed within the structure of environmentally sensitive production methods and for efficient use of Natural Resources and energy to reduce the emissions that cause climate change. Plastic materials take an important place in our daily lives. Polypropylene (PP), which is a thermoplastic polymer material, has a wide range of uses in the automotive industry, manufactory and food packaging, but in some cases it does not provide the desired properties. Composite material is needed to further improve the properties of these materials. Composite materials that are constantly evolving and changing have many advantages such as reducing costs, increasing the efficiency and quality of the product. Some materials used as additives to plastic materials also produce improvements in their mechanical and thermal properties as plastic composites. In this study, 100 standard test bars were produced in the injection machine by making homogenous mixture of % 1 graphite material with commonly used polypropylene (PP) material in double screw extruder machine. Pure polypropylene (PP) izod impact test with the prototype of the product and composite product, Melt Flow Index (MFI), Heat Deformation Test (HDT), hardness test (Shore-D) tensile test and density tests were conducted. According to the test results, some changes in thermal and mechanical properties of pure polypropylene (PP) and Graphite reinforced polypropylene (GPP) composite material were investigated. As a result, the mechanical properties of these two materials have improved by approximately % 30 and thermal properties by approximately % 15. By improving its mechanical and thermal properties it will provide great advantages in the plastics industry. It is also envisaged that it could be used as a new product in the military industry, aviation and automotive sectors.

Keywords- *Sustainable Production, Polypropylene, Graphite, Mechanical tests, Thermal tests*

I. GİRİŞ

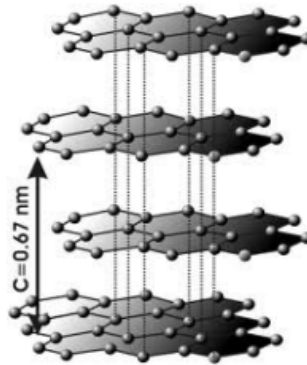
Hayvan, bitki ve ağaçlardan elde edilen pamuk, kauçuk, ipek vb. doğal polimerler yüzlerce yıldır kullanılmaktadır. Protein, enzim, selüloz gibi diğer doğal polimerler de canlıların biyolojik ve fizyolojik süreçleri için büyük önem arz etmektedir. Günümüzde artan talebin ve endüstrideki gelişmelere paralel olarak yapay polimerlerin üretimleri yapılmaktadır [1]. Fakat bu polimer malzemelerin mekanik ve termal özelliklerinin gelişen endüstriye ayak uyduramaması ve yapısal özelliklerinin yetersiz kalmasından dolayı kompozit malzemelerin üretilmelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Endüstride çoğunlukla maliyeti düşük olan ve özellikle geri dönüşümü rahatlıkla yapılabilen termoplastik polimer malzemeler kullanılmaktadır. Termoplastik polimer malzemelerden de polipropilen (PP) malzemesi ısıl çarpılma direnci, yorulma dayanımı ve kimyasal olarak kararlı yapıda olmasından dolayı daha çok otomotiv endüstrisi, beyaz eşya ve elektrik-elektronik ürünlerinin aksanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [1-3].

Termoplastik polimer malzemelerden olan polipropilen, bazı durumlarda mekanik ve termal özellikleri istenilen durumu karşılayamamaktadır. Bu yüzden de kompozit malzemelerin oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Kompozit malzemeler iki veya daha fazla malzemenin birleşerek yeni ürün oluşturulmasıdır ve böylece malzemenin mekanik ve termal özelliklerini iyileştirerek ürün taleplerini karşılamaktadır. Bu bağlamda, grafit; yumuşak, yüzeyi yağsı ve ince levhalar şeklinde, eğilme ve bükülme özelliğine sahip, bir karbon mineralidir. Nano boyutlu grafit tabakalarının çeşitli polimerlerde dolgu maddesi olarak kullanılmasıyla üstün nitelikli polimer kompozitler hazırlanabilmektedir [4]. Grafit, iki boyutta birbirine kuvvetli kovalent bağlarla bağlanan karbon atomlarının oluşturduğu ve frafen olarak isimlendirilen tabakaların zayıf van der waals bağlarıyla üst üste dizilmesiyle elde edilen bir malzemedir [5].

Enjeksiyon kalıplama, termoplastik malzemeler için en uygun üretim yöntemidir. Enjeksiyonla kalıplama sisteminde polimer malzemeler, eritme işlemi, kalıp boşluğuna doldurma işlemi, soğutma ve parçaların kalıptan çıkarılması işlemlerinden geçilerek elde edilir [3]. Besleme hunisine konulan granül polimer ve kompozit malzeme vidanın emme hareketiyle enjeksiyon makinesinde beslenir. Uygulanan ısıtma ve vidanın hareketi ile oluşan sürtünme ısıyla malzeme basınçla birlikte eritilip silindirik çıkışına doğru malzeme iletimi gerçekleştirilir. Ergimiş malzeme, vidanın ileri doğru hızlı olarak itilmesi ile çıkıştaki kalıbın içine sıvı halde enjekte edilir [1-3].

Şekil 1’de grafit malzemesinin kimyasal yapısı görülmektedir.



Şekil 1. Grafit malzemesinin kimyasal yapısı [6]

Literatürde polimer malzemelerden ürünler Ergiyik Depolayarak Modelleme (FDM - Fused Deposition Modeling) yöntemi ile de üretilmektedir. Daha karmaşık tasarımı yapılmış ürünlerin enjeksiyon kalıplarının

yapılması oldukça maliyetli ve zor olduğundan dolayı karmaşık yapıdaki ürünlerin imalatı (FDM - Fused Deposition Modeling) yöntemi ile üretilmektedir. Bu kapsamda yapılmış literatürde polimer malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi ve analizi ile çok sayıda çalışma [8-12] yapılmıştır. Bu çalışmada ise, grafit takviyeli polipropilen kompozit malzemenin enjeksiyon yöntemi ile üretimi yapılarak, kompozit malzemenin bazı mekanik ve termal özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu sayede endüstride ihtiyaç duyulan ergonomik parçaların üretimi sağlanmış olacaktır.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

A. Malzeme Üretimi

Enjeksiyon kalıplama yöntemi, plastik malzemelere uygulanan üretim yöntemlerinin başında gelmektedir. Yapılan literatür çalışmalarında [5-6] grafit oranı %1 olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada ham polipropilen (PP) ve % 1 oranında grafit partikülleri takviyeli polipropilen (GPP), çift vida etkili ekstrüderde homojen karışımı yapılarak enjeksiyon makinesinde 100 adet standart test çubuğu üretilmiştir. Şekil 2' de a) Enjeksiyon makinesi b) üretimi yapılan standart test çubuğu gösterilmiştir. Şekil 2'de enjeksiyon makinesinde, 45 mm/sn enjeksiyon hızı ve 50 bar üretim basıncı ile tek vidalı kovan içerisinde dikdörtgen kesitli numuneler halinde üretilmiştir. Plastik çekme test çubuklarının ölçüleri (ASTM D638) standardında yapılmış ve plastik çekme test çubuğu imalatı enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretimi yapılmıştır.



Şekil 2. a) Plastik Enjeksiyon Makinesi b) Standart Test Çubuğu

B. Testler ve Analizler

Bir cisme uygulanan kuvvetler karşısında göstermiş olduğu tepki, mekanik davranış olarak tanımlanır. Bu davranış biçimini mekanik özellikleri belirler. Malzemenin mekanik özellikleri, değişik tür zorlamalar altında oluşan gerilmeler şekil değiştirmeleri ölçerek ve gözleyerek de belirlenebilir. Cisimler, artan dış zorlamalar altında önce şekil değiştirir, sonra dayanımını yitirerek kırılır. Termal analiz yöntemi, malzemelerin fiziksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak değişiminin incelendiği deneysel bir yöntemdir. Termal analiz, malzemelerin kontrollü bir şekilde ısıtılarak ya da soğutulurken, malzemelerin fiziksel özelliklerinde oluşan değişimin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçüldüğü yöntemleri içerir.

Polipropilen (PP) ve kompozit ürünün 250 kN kapasite yük hücreleri ile Shimadzu marka universal test cihazı kullanılarak 1 mm/dak çekme hızında çekme testlerine tabi tutularak gerçekleştirilmiştir. Çekme testi her bir numune için üç kez tekrarlanmış ve sonuçların ortalaması alınmıştır. Tüm testler laboratuvar ortamında yapılmıştır.

Izod darbe testi, gevrek ve kırılmaya neden olabilecek şartlar altında çalışan malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Özellikle, polimer malzemeler ve Hacim Merkezli Kübik yapıli metallerde çok büyük önem arz etmektedir. Izod darbe test cihazının özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Izod Darbe Test Cihazının Özellikleri;

- Sarkacın enerjisi 2,75 Joule,
- Açı 150 derece,
- Genişlik 4 mm,
- Kalınlık 8 mm, 2 mm çentik kalınlığı,
- Yerçekimi 9,84 m/s² şeklindedir.

Izod darbe test cihazı ve standart izod darbe test numuneleri (80x10x4 mm) ölçülerinde yapılmıştır. Testler her bir numune için üç kez tekrarlanarak ortalama değerleri alınmıştır.

Shore-D testi plastik ya da esnek olan malzemelerin sertliğini belirlemek için kullanılan geleneksel bir sertlik ölçme yöntemidir [14]. Polimerlerin, elastomerlerin ve kauçuk yapıli malzemelerin sertliğini belirlemek için kullanılmaktadır [14-15]. Enjeksiyon makinesi ile hazırlanan numunelerin sertlik testleri verilen ZWICK marka Shore D durometre cihazı ile yapılmıştır. Testler her bir numune için üç kez tekrarlanarak ortalama değerleri alınmıştır.

Eriyik Akış İndeksi testi (MFI) plastik malzemelerin ekstrüderde işlenmesi ve enjeksiyon makinesinde kalıplanarak şekil verilmesi sırasında gösterdiği akışkanlık davranışlarını belirlemek amacıyla yapılır [17]. Polimer malzemelerin kontrollü bir şekilde ısıtılarak ya da soğutularak, malzemelerin fiziksel davranışlarında meydana gelen değişimlerdeki değişimler için plastiklere termal testler uygulanır [13]. Polimer malzemelerde akışkanlık, ürünün işlenmesinde ve kalıplanmasında kritik öneme sahiptir. Bu nedenle de kontrolü önemli bir parametredir. Akışkan İndeksi MFI (ISO 1133) testi Melt İndeks test cihazı ile yapılmıştır. Cihaza ait bazı teknik bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Eriyik akış indeksi testi (MFI) test cihazı parametreleri

Sıcaklık (°C)	220
Yer çekimi (g/cc)	0,915
Hacimsel erime akış hızı (MVR)	1
Kütlesel erime akış hızı (MFR)	0
Ön ısıtma yük süresi (sn)	5
Ölçüm zamanı (sn)	10
Yük (kg)	2,75
Meme çapı (mm)	2,095
Yük uzunluğu (mm)	8
10 sn de adımlardaki kesim ölçüsü (mm)	0,25

Isı Deformasyon Testi (Heat Deflection Temperature - HDT); polimer, mamul ve yarı mamullerin yüksek sıcaklığa maruz kaldığında hangi sıcaklık değerine kadar sınırı olduğunu belirlenmesinde kullanılır [19]. HDT testleri ISO 75 standardına göre yapılmıştır. Numuneler (100x10x4mm) 3 farklı istasyonda test edilerek ortalama 0,118 mm derinlikte sekiz kez sıcaklıkları ölçülmüş ve sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Polipropilen (PP) polimer malzemesi için başlama sıcaklığı 27 °C, kompozit malzemesi için başlama sıcaklığı 27 °C olarak belirlenmiştir.

Yoğunluk testi plastik malzemelerinin birim hacmindeki ağırlığının tespit edilmesinde ve yoğunluğunun tayin edilmesi amacı ile yapılır [20]. Testler RADWAG WAS 220/X model yoğunluk kiti olan hassas terazi ile ISO 1183 test standardına uygun olarak yapılmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bir malzemeyi seçip kullanmadan önce o malzemenin mekanik ve termal özelliklerini bilmek ve özelliklerini tespit etmek çok önemlidir. Yapılan bu çalışmada elde edilen kompozit malzemenin homojen karışımı ve prototipin üretimi enjeksiyon tezgahında yapılmıştır. PP ve GPP kompozit ürünlerin mekanik özelliklerini tespit etmek için izod darbe testi sonuçları Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2. PP ürünün izod test sonuçları

Test	Çekicin Harcanan Enerjisi (Joule)	İzod Sonucu (kJ/m ²)
1	0,087	3,012
2	0,094	3,043
3	0,092	3,035
Ortalama	0,091	3,030

Tablo 3. GPP ürünün izod darbe test sonuçları

Test	Çekicin Harcanan Enerjisi (Joule)	İzod Sonucu (kJ/m ²)
1	0,119	4,132
2	0,106	3,681
3	0,115	4,102
Ortalama	0,113	3,971

Izod darbe testi, gevrek ve kırılmaya neden olabilecek şartlar altında çalışan malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Izod darbe testinin genel olarak amacı, malzemelerin dinamik zorlamalar altında kırılması için gerekli enerji miktarını, süneklik ve gevrek geçiş sıcaklığını saptamaktır.

Testler, üç adet polipropilen (PP) ve 3 adet kompozit ürün üzerinden yapılmıştır. Yapılan test sonuçlarının ortalaması alınmıştır ve yeni kompozit ürünün izod test sonucuna göre yaklaşık % 31,5 mekanik özelliğinin arttığı tespit edilmiştir.

Çekme testi malzemede belirli şekil değiştirmeyi meydana getirmek için uygulanması gereken kuvvetin tespitinde veya ürüne belirli bir kuvvet uygulandığı zaman meydana gelecek şekil değişiminin belirlenmesini sağlar [21]. Bu mekanik test, mühendislikte büyük önem arz etmektedir [22]. Çekme testi sonuçları Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. PP ürünün çekme test sonuçları

Test	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Elastikiyet Modülü (MPa)	Akmada Uzama (mm)	Kopmada Uzama (mm)
1	29,963	26,139	1410,9	3,85	17,27
2	30,227	26,228	1965,8	3,33	14,84
3	30,504	25,887	1639,5	3,57	15,93
Ortalama	30,23133	26,08467	1672,06	3,583333	16,01333

Tablo 5. GPP ürünün çekme test sonuçları

Test	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Elastikiyet Modülü (MPa)	Akmada Uzama (mm)	Kopmada Uzama (mm)
1	28,447	25,816	1719,8	3,50	11,49
2	28,898	25,899	2080,6	3,24	8,71
3	29,079	25,808	1901,4	3,35	12,73
Ortalama	28,808	25,841	1900,6	3,36	10,97

Çekme testlerinde GPP kompozit ürünün elastikiyet modülünde artış meydana gelmiştir. Bu da yapılan ürünlerde şekil değişikliği biraz daha zor yapılabileceği belirlemiştir.

Lastik gibi yumuşak polimerlerde Shore-A, diğer polimerlerde ise Shore-D test yöntemi kullanılmaktadır [16]. Shore-D test sonuçları Tablo 6 ve Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 6. PP Shore-D test sonuçları

Test	Shore-D değeri
1	69
2	70
3	67
Ortalama	68,66

Tablo 7. GPP kompozit ürünün Shore-D test sonuçları

Test	Shore-D değeri
1	70
2	72
3	71
Ortalama	71

İmal edilen ürünlerin Shore-D testleri yapılmıştır ve GPP kompozit üründe yaklaşık % 3 artış, yani sertliğinde iyileşme meydana gelmiştir.

Yoğunluk test sonuçları Tablo 8 ve Tablo 9’da gösterilmiştir. Test sonuçlarına göre PP ve GPP kompozit ürünlerin yoğunluklarında az bir değişiklik meydana gelmiştir.

Tablo 8. PP ürünün yoğunluk test sonuçları

Test	Yoğunluk gr/cm ³
1	0,89
2	0,90
3	0,89
Ortalama	0,893

Tablo 9. GPP kompozit ürünlerin yoğunluk test sonuçları

Test	Yoğunluk gr/cm ³
1	0,91
2	0,93
3	0,91
<i>Ortalama</i>	<i>0,916</i>

Yoğunluk test sonuçlarına göre yeni GPP kompozit ürünlerin yoğunluğunda % 2,57 artış meydana gelmiştir.

Termal testler ürünün kullanılacağı en düşük ve en yüksek sıcaklık aralığının belirlenmesi ve ürün hakkındaki ergime sıcaklığı, ısı geçirgenliği, ısıl genleşmesi, bozunma sıcaklığı gibi özelliklerin belirlenmesinde kullanılan test yöntemleridir [23]. Termal özelliklerden olan MFI (Eriyik Akış İndeksi) belirli sıcaklık ve yükleme koşulları altında belirlenmiş uzunlukta ve bilinen kesit alanına sahip nozuldan akan polimer malzemenin kütsel veya hacimsel miktarını ölçmektedir [16]. Tablo 10 ve Tablo 11’de MFI sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 10. PP ürünlerin (MFI) test sonuçları

Test	Eriyik Akış Endeksi (MFI) Sonucu (g/10dak)
1	3,1
2	3,2
3	3,1
<i>Ortalama</i>	<i>3,13</i>

Tablo 11. GPP kompozit ürünün MFI test sonuçları

Test	Eriyik Akış Endeksi (MFI) Sonucu (g/10dak)
1	3,1
2	3,5
3	3,2
<i>Ortalama</i>	<i>3,26</i>

Testlerde üç adet ölçüm yapılmış ve bunların ortalaması alınmıştır. GPP kompozit ürünün viskozitesinde azalma olduğu görülmüştür. Bu da enjeksiyon yöntemi ile üretimi yapılan karmaşık yapıları ürünlerin üretiminde avantaj sağlamaktadır. GPP kompozit malzemenin termal özelliğinde yaklaşık % 4,15 iyileşme olduğu belirlenmiştir. HDT (Isı Deformasyon Testi); plastik, sert kauçuk, naylon yalıtım malzemeleri, takviyeli kompozit ve yüksek mukavemetli termoset ve termoplastik yumuşama noktasını ve sehimini belirleme sıcaklığını belirlemek için kullanılır [19]. Tablo 12 ve Tablo 13’te uygulanan HDT test sonuçları belirtilmiştir.

Tablo 12. PP ürünün ısı deformasyon test (HDT) sonuçları

Test	1. İstasyon		2. İstasyon		3. İstasyon	
	Derinlik (mm)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (mm)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (mm)	Sıcaklık (°C)
1	0,01	26,2	0,01	26,9	0,01	27,1
2	0,04	28,3	0,04	28,5	0,04	29,6
3	0,07	30,0	0,07	31,2	0,07	32,3
4	0,10	32,1	0,10	33,4	0,10	33,1
5	0,13	33,0	0,13	34,9	0,13	34,8
6	0,17	35,2	0,17	35,7	0,17	35,9
7	0,20	36,3	0,20	37,6	0,20	37,8
8	0,23	37,8	0,23	38,5	0,23	38,8
ΣORT.	0,118	32,3	0,118	33,3	0,118	33,6

Tablo 13. GPP kompozit ürünün ısı deformasyon test (HDT) sonuçları

Test	1. İstasyon		2. İstasyon		3. İstasyon	
	Derinlik (mm)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (mm)	Test	Derinlik (mm)	Sıcaklık (°C)
1	0,01	31,8	0,01	30,3	0,01	30,8
2	0,04	33,6	0,04	34,5	0,04	33,6
3	0,07	35,2	0,07	37,2	0,07	35,8
4	0,10	37,1	0,10	39,2	0,10	37,4
5	0,13	39,4	0,13	40,7	0,13	38,8
6	0,17	42,3	0,17	42,3	0,17	40,6
7	0,20	43,2	0,20	44,9	0,20	42,6
8	0,23	45,5	0,23	46,1	0,23	44,9
ΣORT.	0,118	38,51	0,118	39,4	0,118	38,06

Çalışmada, üç istasyonda 8 adet ölçüm yapılmıştır ve bu ölçüm sonuçlarının ortalaması hesaplanmıştır. GPP kompozit ürünlerin termal özelliklerinde yaklaşık % 17 iyileşme olduğu görülmüştür. GPP kompozit ürünün sıcaklığa karşı eğilme direnci artmıştır.

IV. GENEL SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada; % 1 oranında polipropilen malzemesine grafit partikülleri eklenerek kompozit ürün oluşturulmuştur. Enjeksiyon makinesinde, prototip standart levha çekme test çubuklarının üretimi yapılmıştır. PP ile prototipi üretilen ürün ile grafit partikül takviyeli GPP kompozit ürünün izod darbe testi sonucunda, kompozit üründe yaklaşık % 31,5 gibi bir iyileşme elde edilmiştir. Kompozit ürünün mekanik özelliği iyileşmiştir. Yapılan ısı deformasyon (HDT) test sonuçlarına göre kompozit malzemenin termal özelliğinin oldukça iyileştiği, yaklaşık % 38'lik eğilme sıcaklığının arttığı gözlenmiştir ve yaklaşık % 17 termal özelliğinde iyileşme meydana gelmiştir. Eriyik Akış Endeksi (MFI) sonucuna göre yeni kompozit malzemenin viskozitesi azalmış ve malzemenin termal özellikleri yaklaşık % 4,15 artmıştır. Sertlik testi (Shore-D) sonucunda kompozit ürünün sertliğinde ihmal edilecek değerlerde veriler elde edilmiştir. Yapılan çekme testi sonuçlarına göre GPP kompozit ürünün mekanik özelliklerinde önemli derecede iyileşmeler meydana gelmiştir. Sonuç olarak, GPP kompozit malzemenin savunma, havacılık ve otomotiv sanayinde alternatif yeni ürün olarak kullanılabilceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Şengül, Ö., & Şeremet, M. (2019). Analysis of Thermal And Mechanical Properties of The Product Manufactured With Graphite Reinforced Polypropylene (PP) Composite Material. International Marmara Sciences Congress (Autumn) 28 Ekim-1 Kasım, Kocaeli.
- [2] Onaran K. (2012). Malzeme Bilimi (12. Baskı), Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- [3] Savaşçı, Ö. T., 2002. Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi, PAGYAY yayıncılık, İstanbul.
- [4] Xu, J., Hu, Y., Song, L., Wang, O., Fan, W., & Chen, Z. (2002). Preparation And Characterization Of Poly (Vinyl Alcohol) Graphite, 40, 445467.
- [5] Şengül, Ö., Tugaytimur, C., & Şeremet, M. (2019). Polietilen-Grafen Takviyeli Kompozitlerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi. 3rd International Engineering Research Symposium (Iners'2019), 5-7 Eylül, Düzce.
- [6] Cuhadaroğlu, A., & Kara, E. (2018). Grafit: Bir Genel Değerlendirme. *Teknik Bilimler Dergisi*; 8 (1): 14-33. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tbed/issue/34644/330629>
- [7] Kırıyıcı, İ.A., Plazma püskürtme yöntemiyle üretilen hidroksiapatit-cam kompozit kaplamaların karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul-Türkiye, (2011).
- [8] Kam, M., Saruhan, H., & İpekçi, A. (2018). Investigation the effects of 3D printer system vibrations on mechanical properties of the printed products. *Sigma J. Eng and Nat. Sci*; 36(3): 655-666.
- [9] İpekçi, A., Kam, M., & Saruhan, H. (2018). Investigation of 3D printing occupancy rates effect on mechanical properties and surface roughness of PET-G Material Products. *Journal of New Results in Science*; 7(2): 1-8.
- [10] Kam, M., İpekçi, A., & Saruhan, H. (2017). Investigation of 3D printing filling structures effect on mechanical properties and surface roughness of PET-G material products. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*; 6(ISMSIT2017): 114-121.
- [11] Kam, M., Saruhan, H., & İpekçi, A. (2019). Investigation the effect of 3d printer system vibrations on surface roughness of the printed products. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*; 7(2): 147-157.
- [12] Kam, M., Saruhan, H., & İpekçi, A. (2019). Farklı doldurma şekillerinin üç boyutlu yazıcılarda üretilen ürünlerin mukavemetine etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*; 7(3): 951-960.
- [13] TS 1005, (1994), Plastikler-Izod Darbe Mukavemetinin Tayini, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara.
- [14] http://www.yalova.edu.tr/Files/UserFiles/158/Mekanik_Lab-10.07.2017_ozgur.pdf
- [15] Jordan, D.R., Mawn, L.A., Brownstein, S., Gilberg, S.M., Hill, V., Grahovac, S.Z., Adenis Ophthal, J.P., *Plast. Reconstr. Surg.*16(5) (2000) 347-355.
- [16] Cömert, Z.Y., Cömert, I.A., Bakkaloğlu, Toz metalurjisinde kullanılan biyomalzemeler, 11th International Materials Symposium, (2004) 161-165.
- [17] Durman, M. (1992), Kompozit Malzemeler Ders Notları, İ.T.Ü. Sakarya Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümü, Sakarya.
- [18] Gamstedt, E.K., Nygard, P., & Lindström, M., (2007). Transfer Of Knowledge From Papermaking To Manufacture Of Composite Materials. Proceedings Of The 3rd Wood Fibre Polymer Composites International Symposium, p.12, Bordeaux.

- [19] [http://hubtuam.hitit.edu.tr/isi-altında-deformasyon-ve-yumusama-noktasi-sicakliklari-belirleme-cihazı-hdt-vcıat](http://hubtuam.hitit.edu.tr/isi-altinda-deformasyon-ve-yumusama-noktasi-sicakliklari-belirleme-cihazı-hdt-vcıat).
- [20] Olcay, Y., Akyol, M., Gemci R., Polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metodlarının incelenmesi: Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7(1) (2002) 93
- [21] Kayalı, E.S., Ensari, C., & Dikeç, F. (1996). Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Yayını, İstanbul.
- [22] Yılmaz, S. (1999). Plastik Malzemelerin Mekanik özelliklerinin incelenmesi, Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği, İzmir.
- [23] Kartal, İ., & Boztoprak, Y. (2019). Bor Nitrür Partikülleriyle Takviye Edilmiş Vinilester Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *El Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 6, no. 1, pp. 43-50, Dec.
- [24] Yüksel, M., & Meran, C. (2010). Malzeme Bilgisine Giriş Cilt 2, MMO.
- [25] Gamstedt, E.K., Nygard, P., & Lindström, M. (2007). Transfer of knowledge from papermaking to manufacture of composite materials. Proceedings of the 3rd wood fibre polymer composites international symposium, p.12, Bordeaux.

Araştırma Makalesi - Research Article

W-Yönlü Eğrilerden Elde Edilen Regle Yüzeyler

İlkay Arslan Güven^{1*}

Geliş / Received: 07/01/2020

Revize / Revised: 03/04/2020

Kabul / Accepted: 03/04/2020

ÖZ

Bu çalışmada, bir Frenet eğrisinin W-yönlü eğrisi dayanak eğrisi olarak kullanılıp elde edilen bazı özel regle yüzeyler tanımlanmıştır. Bu regle yüzeylerin açılabilirlik ve minimalite karakterizasyonlarını verdik. Esas eğri ve regle yüzeyin dayanak eğrisi arasındaki ilişkiyi, dayanak eğrisinin geodezik eğri, asimptotik eğri ve eğrilik çizgisi olması açısından inceledik. Ayrıca bazı örnekler de verildi.

Anahtar Kelimeler- Regle yüzey, W-yönlü eğri, Asimptotik eğri, Geodezik eğri, Eğrilik çizgisi

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: iarslan@gantep.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-5302-6074>)
Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Gaziantep, Türkiye

Ruled Surfaces With W-direction Curves

ABSTRACT

In this study, some special ruled surfaces were determined which were constituted by using the base curve as the W-direction curves of a Frenet curve. We gave the characterizations of developability and minimality of these ruled surfaces. We investigated the relation between the primary curve and the base curve of ruled surfaces, we also inquired the occurrence geodesic curve, asymptotic line and principal line of the W-direction curve on the ruled surface. Terminally, some examples were given.

Keywords- Ruled surface, W-direction curve, Asymptotic curve, Geodesic curve, Line of curvature

I. INTRODUCTION

The curve theory is a subsection of geometry which takes notice of curves in Euclidean space or different spaces by using calculus of differentiation and integration. Curve pairs such as Bertrand curves, involute-evolute curves, Mannheim partner curves and W-direction curves are associated curves which are researched in most subject matter in differential curve theory. Since these remarkable curves could be featured by the properties and behavior of the primary curves of them, operating with these associated curves is a pleasant outlook.

The most frequently utilised headings to qualify curves are cylindrical or general helix and slant helix. A *general helix* in E^3 is determined as; its tangent vector field performs a constant angle with a fixed direction. In the event that, the principal normal vector field of a curve performs a constant angle with a fixed direction, that curve is entitled as *slant helix*. Izumiya and Takeuchi acquired that a curve is a slant helix if and only if the function

$$\delta(s) = \left(\frac{\kappa^2}{(\kappa^2 + \tau^2)^{3/2}} \cdot \left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \right) (s) \quad (1)$$

is a constant function which is the geodesic curvature of the principal normal indicatrix curve [6].

Recently, Macit and Düldül described W-direction curve, W-rectifying curve and V-direction curve of a Frenet curve in E^3 and also principal direction curve, B_1 -direction curve B_2 -direction curve an B_2 -rectifying curve in E^4 . By integrating vector fields procured from the Frenet frame or Darboux frame among a curve, the associated curves mentioned above were imparted. The relationship of the curvature and the torsion among the associated curves and their primary curve and the Frenet vector fields is contributed [10].

The associated curves of a Frenet curve were examined in three dimensional compact Lie group G, by Kızıltuğ and Önder. The principal normal direction curve and principal normal donor curve were introduced, and certain attributions of those curves were gained in G [7].

Also associated curves were studied by Körpınar et al, in [8]. They defined these curves by using the Bishop frame and called the new curves as M_1 -direction curve, M_2 -direction curve, M_1 -donor curve and M_2 -donor curve. They gave some characterizations of these new curves.

In [12], Scofield gave a curve called constant precession which is defined by the property that the curve is traversed with unit speed, its centrode (Darboux vector field) revolves about a fixed axis with constant angle and constant speed. A curve of constant precession has a characterization with curvature and torsion which is $\kappa(s) = \omega \sin(\mu s)$, $\tau(s) = \omega \cos(\mu s)$ where $\omega > 0$ and μ are constants.

The theory about the ruled surfaces can be seen in literature [3,4,5,6,13].

In this study, we investigated the normal surface and binormal surface which are ruled surfaces, by acquiring the sole curve as W-direction curve. We imparted beneficial results in the matter of being developable and minimal surface and being asymptotic curve, geodesic curve, line of curvature of the sole curves. We also illustrated these surfaces.

II. PRELIMINARIES

Let a curve be $\beta : I \rightarrow E^3$, $\{T, N, B\}$ state the Frenet frame and s is the arclength parameter of β . $T(s) = \beta'(s)$ is entitled the *unit tangent vector* of β at s . The *curvature* of β is designated as $\kappa(s) = \|\beta''(s)\|$ and the *torsion* is calculated as $\tau(s) = \|\mathbf{B}'(s)\|$. $N(s)$ is the *unit principal normal vector* and $\beta''(s) = \kappa(s)N(s)$. Also the unit vector $B(s) = T(s) \times N(s)$ is entitled the *unit binormal vector* of β at s . Then the renowned Frenet formula possess as;

$$\begin{aligned} T'(s) &= \kappa(s)N(s), \\ N'(s) &= -\kappa(s)T(s) + \tau(s)B(s), \\ B'(s) &= -\tau(s)N(s). \end{aligned} \quad (2)$$

For s arc-length parametered curve β , the Frenet vectors are figured out by;

$$\begin{aligned} T(s) &= \beta'(s), \\ N(s) &= \frac{\beta''(s)}{\|\beta''(s)\|}, \\ B(s) &= T(s) \times N(s). \end{aligned} \quad (3)$$

For the curve $\beta : I \rightarrow E^3$ with s parameter of arc-length, the vector

$$W(s) = \tau(s)T(s) + \kappa(s)B(s) \quad (4)$$

is denominated the *Darboux vector* of β . This $W(s)$ vector is the rotation vector of trihedral of β in the event that a point goes along the curve β by means of curvature $\kappa \neq 0$. *Frenet curve* β is unit speed curve if it possess the curvature which is not zero and $\beta''(s) \neq 0$.

Definition: Let a Frenet curve in E^3 be β and the Darboux vector field which is unit be W . *W-direction curve* of β is the integration curve of $W(s)$. Nominately, demonstrating $\bar{\beta}$ as the W -direction curve of β , $W(s) = \bar{\beta}'(s)$ is written. Herein $W(s) = \frac{1}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}(\tau T + \kappa B)$ [10].

For a Frenet curve β and its W -direction curve $\bar{\beta}$, the Frenet members are $\{T, N, B, \kappa, \tau\}$ and $\{\bar{T}, \bar{N}, \bar{B}, \bar{\kappa}, \bar{\tau}\}$ respectively. The relationship of Frenet members among the W -direction curve and the primary curve are contributed in [10] as;

$$\begin{aligned} \bar{T} &= \frac{\tau}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}T + \frac{\kappa}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}B, \\ \bar{N} &= -\frac{\kappa}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}T + \frac{\tau}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}B, \\ \bar{B} &= -N, \\ \bar{\kappa} &= \frac{|\tau\kappa' - \tau'\kappa|}{\kappa^2 + \tau^2}, \quad \bar{\tau} = \sqrt{\kappa^2 + \tau^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Theorem: Let a curve be β which is not a general helix and $\bar{\beta}$ be the W -direction curve of it. Thereafter β is a slant helix necessary and sufficient condition $\bar{\beta}$ is a general helix [10].

Theorem: Let a curve be β which is not planar and $\bar{\beta}$ be the W -direction curve of it. Thereafter $\bar{\beta}$ is a straight line necessary and sufficient condition β is a general helix [10].

Theorem: For a curve, $\frac{\tau}{\kappa} = \text{constant}$ necessary and sufficient condition that curve is a general helix [11].

A surface in R^3 is entitled *ruled surface* which could be depicted as the points set scan the surface via a straight line scanning among the surface. Hence forth it holds a manner parametrization

$$\Phi(s, v) = \alpha(s) + v\delta(s). \quad (6)$$

Here α is entitled *base curve* which is a curve louning on the surface and *director curve* is δ . The straight lines of the surface are denominated as rulings. When we are utilizing ruled surface equation, we postulate that δ is on no account zero and α' is not likewise zero.

The *distribution parameter* of Φ given above is dedicated as;

$$\lambda = \frac{\det\left(\frac{d\alpha}{ds}, \delta, \frac{d\delta}{ds}\right)}{\left\|\frac{d\delta}{ds}\right\|^2}. \quad (7)$$

The vector n which is standard unit normal vector field of Φ is identified by

$$n = \frac{\Phi_s \times \Phi_v}{\|\Phi_s \times \Phi_v\|} \quad (8)$$

where $\Phi_s = \frac{d\Phi}{ds}$ and $\Phi_v = \frac{d\Phi}{dv}$.

The Gaussian curvature and the mean curvature of a ruled surface Φ are calculated as;

$$K = \frac{eg - f^2}{EG - F^2} \quad (9)$$

and

$$H = \frac{Eg + Ge - 2Ff}{2(EG - F^2)} \quad (10)$$

where $E = \langle \Phi_s, \Phi_s \rangle$, $F = \langle \Phi_s, \Phi_v \rangle$, $G = \langle \Phi_v, \Phi_v \rangle$, $e = \langle \Phi_{ss}, n \rangle$, $f = \langle \Phi_{sv}, n \rangle$ and $g = \langle \Phi_{vv}, n \rangle$ [11].

For a ruled surface, asymptotic curves could be seen as rulings. Additionally, the ruled surface possesses negative Gaussian curvature every place. The distribution parameter vanishes necessary and sufficient condition the ruled surface is developable. Also its mean curvature vanishes necessary and sufficient condition it is minimal [4].

The general form of a ruled surface is imputed in equation (6). The ruled surfaces that are the *normal* and *binormal surface* are identified by

$$\begin{aligned} \Phi(s, v) &= \alpha(s) + vN(s), \\ \Phi(s, v) &= \alpha(s) + vB(s) \end{aligned} \quad (11)$$

where α is a curve and Frenet vector fields of α are $\{T, N, B\}$ [5,6].

Lets now give the concept of the Darboux frame of a curve on a surface. Let any curve be α with s arc-length parameter and its Frenet frame is $\{T, N, B\}$ among α . For a curve α lying on a surface, the frame $\{T, V, n\}$ among α curve is entitled the Darboux frame.

Hereby, T is the unit tangent vector of α , n is the unit normal vector of the surface and V is the unit vector imputed as $V = n \times T$. The relation among the derivatives and these frame vectors are

$$\begin{bmatrix} T' \\ V' \\ n' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \kappa_g & \kappa_n \\ -\kappa_g & 0 & \tau_g \\ -\kappa_n & -\tau_g & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T \\ V \\ n \end{bmatrix} \quad (12)$$

where the geodesic curvature is κ_g , the normal curvature is κ_n and the geodesic torsion is τ_g [11]. These quantities are contributed with respect to the surface as

$$\begin{aligned} \kappa_g &= \langle n \times T, T' \rangle, \\ \kappa_n &= \langle \alpha'', n \rangle, \\ \tau_g &= \langle T, n \times n' \rangle. \end{aligned} \quad (13)$$

Following expressions are provided for a curve α which is lying on a surface [3]:

- The curve's geodesic curvature in regard to the surface vanishes if and only if α is a geodesic curve.
- The curve's normal curvature in regard to the surface vanishes if and only if α is an asymptotic curve.
- The curve's geodesic torsion in regard to the surface vanishes if and only if α is a line of curvature.

III. RULED SURFACES WITH W-DIRECTION CURVES

We will describe certain especial ruled surfaces in this part. These mentioned especial surfaces are constituted by utilizing the W-direction curve substituted for the base curve. Let a curve be β , s is its arc-length parameter and the W-direction curve of β is $\bar{\beta}$. The curve $\bar{\beta}$'s arc length parameter \bar{s} , can be acquired as $\bar{s} = s$ [1]. From the equation (11) the *normal* and *binormal surface* of $\bar{\beta}$ are given by

$$\Phi_1(s, v) = \bar{\beta}(s) + v\bar{N}(s), \quad (14)$$

$$\Phi_2(s, v) = \bar{\beta}(s) + v\bar{B}(s). \quad (15)$$

Remark: By the theorem given above; for a general helix curve β , the W-direction curve $\bar{\beta}$ of β , is a straight line. Since there is no Frenet 3-vectors of straight lines, it can not be created normal and binormal surfaces of straight lines. So we will take β curves which are not general helix, when we are creating the normal and binormal surfaces.

Theorem 1: For a Frenet curve β and its W-direction curve $\bar{\beta}$, the normal and binormal surface of $\bar{\beta}$ are not developable.

Proof: Bearing in mind that of the equation (7), contributed in (14) and (15) the normal and binormal surfaces' distribution parameters are

$$\lambda_{\Phi_1} = \frac{\det \left(\frac{d\bar{\beta}}{ds}, \bar{N}, \frac{d\bar{N}}{ds} \right)}{\left\| \frac{d\bar{N}}{ds} \right\|^2} \quad \text{and} \quad \lambda_{\Phi_2} = \frac{\det \left(\frac{d\bar{\beta}}{ds}, \bar{B}, \frac{d\bar{B}}{ds} \right)}{\left\| \frac{d\bar{B}}{ds} \right\|^2}. \quad (16)$$

In deference to the equations contributed in (5) and

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{N}}{ds} &= -\left(\frac{\kappa}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}\right)' T - \sqrt{\kappa^2 + \tau^2} N + \left(\frac{\tau}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}\right)' B, \\ \frac{d\bar{B}}{ds} &= \kappa T - \tau B \end{aligned} \quad (17)$$

we have

$$\begin{aligned} \lambda_{\phi_1} &= \frac{(\kappa^2 + \tau^2)^{5/2}}{(\tau\kappa' - \tau'\kappa)^2 + (\kappa^2 + \tau^2)^3}, \\ \lambda_{\phi_2} &= \frac{1}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}. \end{aligned} \quad (18)$$

The surfaces are not developable since the parameters above can not be zero.

Theorem 2: Let a Frenet curve be β , arc-length parameter of β be s , curvature and torsion of β be κ, τ and W-direction curve of β be $\bar{\beta}$. If the equations $\kappa^2 + \tau^2 = c$ and $\frac{\tau}{\kappa} = a + b \int \frac{1}{\kappa^2}$; where a, b and c are constants, are provided then the normal surface of $\bar{\beta}$ is minimal and the binormal surface of $\bar{\beta}$ is not minimal.

Proof: We'll acquire the normal and binormal surfaces' mean curvatures in (9) and (10) for being minimal. For the normal surface imputed in (9), having regard to the fact the equations (1), the sequent equations are acquired

$$\begin{aligned} E_1 &= A^2 + C^2 + D^2, \\ F_1 &= -AX + DY = 0, \\ G_1 &= 1 \end{aligned} \quad (19)$$

and

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{1}{Z_1} \left(-(A' + C\kappa)CY - (AY + DX)(A\kappa - C' - D\tau) - (D' - C\tau)CX \right), \\ f_1 &= \frac{1}{Z_1} \left(C(X'Y - Y'X) + \sqrt{\kappa^2 + \tau^2} (AY + DX) \right), \\ g_1 &= 0 \end{aligned} \quad (20)$$

where

$$\begin{aligned} X &= \frac{\kappa}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}, & Y &= \frac{\tau}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}} \\ Z_1 &= \left\| (\Phi_1)_s \times (\Phi_1)_v \right\|. \end{aligned} \quad (21)$$

$$n_1 = \frac{1}{Z_1} \left((-YC) \bar{T} - (YA + XD) \bar{N} - (XC) \bar{B} \right),$$

$$A = -X'v + Y,$$

$$C = v\sqrt{\kappa^2 + \tau^2} \quad \text{and} \quad D = Y'v + X.$$
(22)

For the binormal surface imparted in (15);

$$E_2 = 1 + v^2(\kappa^2 + \tau^2),$$

$$F_2 = 0,$$

$$G_2 = 1,$$
(23)

and 8

$$e_2 = \frac{1}{Z_2} \left(v \frac{\kappa\kappa' + \tau\tau'}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}} + \left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \frac{\kappa^2(1 + v^2(\kappa^2 + \tau^2))}{\kappa^2 + \tau^2} \right),$$

$$f_2 = \frac{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}{Z_2},$$

$$g_2 = 0$$
(24)

where $Z_2 = \sqrt{1 + v^2(\kappa^2 + \tau^2)}$ and $n_2 = \frac{1}{Z_2} \left((X - v\tau) \bar{T} - (Y + v\kappa) \bar{B} \right).$

(25)

By using the equation (10), we acquire the mean curvatures as

$$H_1 = \frac{e_1}{2E_1},$$

$$H_2 = \frac{e_2}{2E_2}.$$
(26)

e_2 was obtained above and if we elaborate e_1 , we find that

$$e_1 = \frac{1}{Z_1} \left(v^2 \cdot \frac{2(\tau'\kappa - \tau\kappa')(\kappa\kappa' + \tau\tau') - (\tau'\kappa - \tau\kappa')'(\kappa^2 + \tau^2)}{(\kappa^2 + \tau^2)^{3/2}} + v \left(1 + v \left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \frac{1}{1 + \left(\frac{\tau}{\kappa} \right)^2} \right) \cdot \frac{\kappa\kappa' + \tau\tau'}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}} \right)$$
(27)

If $\kappa\kappa' + \tau\tau' = 0$ and $\tau'\kappa - \tau\kappa' = \text{constant}$, then $e_1=0$. The first equation yields $\kappa^2 + \tau^2 = c$ and solution of second equation which is a linear differential equation is $\frac{\tau}{\kappa} = a + b \int \frac{1}{\kappa^2}$. Since β cannot be taken as general helix, $\left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \neq 0$, $\kappa^2(1 + v^2(\kappa^2 + \tau^2)) > 0$ and also if $\kappa\kappa' + \tau\tau' = 0$, then $e_2 \neq 0$.

Theorem 3: Let a Frenet curve be β , arc-length parameter of β be s , curvature and torsion of β be κ, τ and W-direction curve of β be $\bar{\beta}$. If the equation $\frac{\tau}{\kappa} = \tan(cs + d)$ is satisfied, then the base curve $\bar{\beta}$ of

the normal surface of $\bar{\beta}$ is geodesic curve, where c and d are constants. Also the base curve $\bar{\beta}$ of the binormal surface of $\bar{\beta}$ is geodesic curve.

Proof: Now firstly we acquire the normal and binormal surfaces' geodesic curvatures. By using the equation (13), the geodesic curvatures are

$$\begin{aligned}\kappa_{g_1} &= \langle n_1 \times \bar{T}, \bar{T}' \rangle, \\ \kappa_{g_2} &= \langle n_2 \times \bar{T}, \bar{T}' \rangle.\end{aligned}\tag{28}$$

By utilizing the same procedure with the former proof and $\bar{T} = Y\bar{T} + X\bar{B}$ we possess

$$\begin{aligned}n_1 \times \bar{T} &= \frac{1}{Z_1}(YA + XD)(-X\bar{T} + Y\bar{B}), \\ n_2 \times \bar{T} &= -\frac{1}{Z_2}\bar{N}.\end{aligned}\tag{29}$$

In the face of the equation $\bar{T}' = Y'\bar{T} + X'\bar{B}$, we gain

$$\begin{aligned}\kappa_{g_1} &= -\frac{1}{Z_1}(YA + XD)(XY' - YX'), \\ \kappa_{g_2} &= 0.\end{aligned}\tag{30}$$

By using appropriate statements and $Y'X - YX' = \frac{\tau'\kappa - \tau\kappa'}{\kappa^2 + \tau^2}$, we obtain finally that

$$\kappa_{g_1} = -\frac{1}{Z_1} \left(1 + v \left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \frac{\kappa^2}{\kappa^2 + \tau^2} \right) \left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \frac{\kappa^2}{\kappa^2 + \tau^2}\tag{31}$$

Since β cannot be taken as general helix, namely $\left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \neq 0$ and also $\kappa \neq 0$, if $v \left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \frac{\kappa^2}{\kappa^2 + \tau^2} = -1$, then $\kappa_{g_1} = 0$. If we elaborate the equation $v \left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \frac{\kappa^2}{\kappa^2 + \tau^2} = -1$, we can see that $\left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \frac{\kappa^2}{\kappa^2 + \tau^2} = -\frac{1}{v}$ which only can be satisfied in the condition that both sides of the equation should be constant. Because the right and left sides of equations depend on the parameters v and s. Hence we take v as constant and finally we have the equation $\left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \frac{\kappa^2}{\kappa^2 + \tau^2} = c$, where c is constant. The solution of the last equation is $\frac{\tau}{\kappa} = \tan(cs + d)$.

Theorem 4: Let a Frenet curve be β , arc-length parameter of β be s and W-direction curve of β be $\bar{\beta}$. The base curve $\bar{\beta}$ of the normal surface of $\bar{\beta}$ is asymptotic curve and the base curve $\bar{\beta}$ of the binormal surface of $\bar{\beta}$ is not asymptotic curve.

Proof: The normal and binormal surfaces' normal curvatures of $\bar{\beta}$ are computed by the equation (13) as

$$\begin{aligned}\kappa_{n_1} &= \langle \bar{\beta}'', n_1 \rangle, \\ \kappa_{n_2} &= \langle \bar{\beta}'', n_2 \rangle.\end{aligned}\tag{32}$$

With an eye to $\bar{\beta}'' = \bar{T}' = Y'\bar{T} + X'\bar{B}$ and doing appropriate calculations we get

$$\begin{aligned}\kappa_{n_1} &= -\frac{C}{Z_1}(XX' + YY'), \\ \kappa_{n_2} &= \frac{1}{Z_2}(XY' - YX').\end{aligned}\tag{33}$$

By virtue of $XX' + YY' = 0$ and $XY' - YX' = \frac{\kappa\tau' - \tau\kappa'}{\kappa^2 + \tau^2}$, we facily find out that

$$\begin{aligned}\kappa_{n_1} &= 0, \\ \kappa_{n_2} &= \frac{1}{Z_2} \left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \frac{\kappa^2}{\kappa^2 + \tau^2}.\end{aligned}\tag{34}$$

So the base curve $\bar{\beta}$ of the normal surface is asymptotic curve. Since $\left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \neq 0$ and $\kappa \neq 0$, then $\kappa_{n_2} \neq 0$.

Theorem 5: Let a Frenet curve be β , arc-length parameter of β be s , curvature and torsion of β be κ, τ and W-direction curve of β be $\bar{\beta}$. If the equation $\frac{\tau}{\kappa} = \tan(cs + d)$ is satisfied, then the base curve $\bar{\beta}$ of the normal surface of $\bar{\beta}$ is line of curvature. Also the base curve $\bar{\beta}$ of the binormal surface of $\bar{\beta}$ is line of curvature if and only if the equation $\frac{(\tau - \kappa)\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}{\kappa + \tau} = c$ satisfies, where c is constant.

Proof: By using the equation (13), the geodesic torsions of the normal and binormal surfaces of $\bar{\beta}$ are

$$\begin{aligned}\tau_{g_1} &= \langle \bar{T}, n_1 \times n_1' \rangle, \\ \tau_{g_2} &= \langle \bar{T}, n_2 \times n_2' \rangle.\end{aligned}\tag{35}$$

Subsequent to some calculations and using the annotations $r = -\frac{YC}{Z_1}$, $q = -\frac{YA + XD}{Z_1}$,

$$t = -\frac{XC}{Z_1} \text{ and } K = \left(\frac{X - v\tau}{Z_2} \right)', \quad L = \frac{X + Y + v(\kappa - \tau)}{Z_2}, \quad M = \left(\frac{Y + v\kappa}{Z_2} \right)', \text{ we find}$$

$$\begin{aligned}n_1 \times n_1' &= \left(\frac{XC}{Z_1}(r\kappa + q' - t\tau) - \frac{YA + XD}{Z_1}(t' + q\tau) \right) \bar{T} \\ &+ \left(\frac{YC}{Z_1}(t' + q\tau) - \frac{XC}{Z_1}(r' - q\kappa) \right) \bar{N} \\ &+ \left(\frac{YA + XD}{Z_1}(r' - q\kappa) - \frac{YC}{Z_1}(r\kappa + q' - t\tau) \right) \bar{B}\end{aligned}\tag{37}$$

and

$$n_2 \times n_2' = \left(\frac{Y + v\kappa}{Z_2} \right) L \cdot \bar{T} + \left(\left(\frac{X - v\tau}{Z_2} \right) M - \left(\frac{Y + v\kappa}{Z_2} \right) K \right) \bar{N} + \left(\frac{X - v\tau}{Z_2} \right) L \cdot \bar{B} \quad (38)$$

By taking into account that $\bar{T} = Y T + X B$, we obtain lastly

$$\tau_{g_1} = \frac{1}{Z_1^2} \left(1 + v \left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \frac{\kappa^2}{\kappa^2 + \tau^2} \right) \left(\sqrt{\kappa^2 + \tau^2} + \left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \kappa^2 \left(\frac{v}{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}} - \frac{C}{\kappa^2 + \tau^2} \right) \right) \quad (39)$$

and

$$\tau_{g_1} = \frac{\kappa + \tau + v(\kappa - \tau)\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}{Z_2^2 \sqrt{\kappa^2 + \tau^2}} \quad (40)$$

For τ_{g_1} , if $v \left(\frac{\tau}{\kappa} \right)' \frac{\kappa^2}{\kappa^2 + \tau^2} = -1$ which is equal to $\frac{\tau}{\kappa} = \tan(cs + d)$, the result is apparent.

Also if $\kappa + \tau + v(\kappa - \tau)\sqrt{\kappa^2 + \tau^2} = 0$, then $\tau_{g_2} = 0$. This equation yields $\frac{(\tau - \kappa)\sqrt{\kappa^2 + \tau^2}}{\kappa + \tau} = \frac{1}{v}$. Since the right and left sides depend on s and v , respectively, both sides should be constant to satisfy the equation. Therefore if we take v as constant, we have the result.

Corollary 1: Let a Frenet curve be β , arc-length parameter of β be s , curvature and torsion of β be κ, τ and W -direction curve of β be $\bar{\beta}$. If the curve β is constant precession curve, then the base curve $\bar{\beta}$ of the normal surface of $\bar{\beta}$ is geodesic curve and line of curvature.

Proof: Let the curve β be constant precession curve. Then β has the curvature and torsion as $\kappa(s) = \omega \sin(cs)$, $\tau(s) = \omega \cos(cs)$, where $\omega > 0$ and c are constants. Thus the ratio

$$\frac{\tau}{\kappa} = \tan(cs) \quad (41)$$

is obtained simply, which gives the condition in Theorem 3 and 5 in the case $d = 0$.

Example: Let the slant helix be

$$\beta(s) = \left(-\frac{3}{2} \cos\left(\frac{s}{2}\right) - \frac{1}{6} \cos\left(\frac{3s}{2}\right), -\frac{3}{2} \sin\left(\frac{s}{2}\right) - \frac{1}{6} \sin\left(\frac{3s}{2}\right), \sqrt{3} \cos\left(\frac{s}{2}\right) \right). \quad (42)$$

The W -direction curve of β is found as

$$\bar{\beta}(s) = \left(-\frac{9s}{8} - 6 \sin\left(\frac{s}{2}\right) - \frac{3}{4} \sin(s) - \frac{1}{16} \sin(2s), -\frac{1}{2} \cos(s), \frac{\sqrt{3}}{2} s \right) + (c_1, c_2, c_3) \quad (43)$$

where c_1, c_2, c_3 are constants [11].

We calculated principal normal and binormal vectors of W -direction curve $\bar{\beta}$;

$$\begin{aligned}\bar{N} &= (-\sin(s), \cos(s), 0), \\ \bar{B} &= \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\cos(s), \frac{\sqrt{3}}{2}\sin(s), -\frac{1}{2} \right).\end{aligned}\tag{44}$$

The normal and binormal surfaces of W-direction curve $\bar{\beta}$ are imputed respectively by

$$\Phi_1(s, v) = \left(\begin{aligned} &-\frac{9s}{8} - 6\sin\left(\frac{s}{2}\right) - \frac{3}{4}\sin(s) - \frac{1}{16}\sin(2s) - v\sin(s) + c_1, \\ &-\frac{1}{2}\cos(s) + v\cos(s) + c_2, \quad \frac{\sqrt{3}}{2}s + c_3 \end{aligned} \right)\tag{45}$$

and

$$\Phi_2(s, v) = \left(\begin{aligned} &-\frac{9s}{8} - 6\sin\left(\frac{s}{2}\right) - \frac{3}{4}\sin(s) - \frac{1}{16}\sin(2s) + v\frac{\sqrt{3}}{2}\cos(s) + c_1, \\ &-\frac{1}{2}\cos(s) + v\frac{\sqrt{3}}{2}\sin(s) + c_2, \quad \frac{\sqrt{3}}{2}s - v\frac{1}{2} + c_3 \end{aligned} \right).\tag{46}$$

The following figures shows the surfaces $\Phi_1(s, v)$ and $\Phi_2(s, v)$.

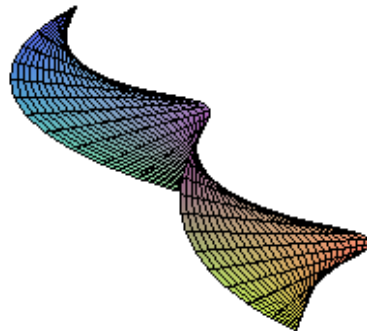


Figure 1. Normal surface of $\bar{\beta}$

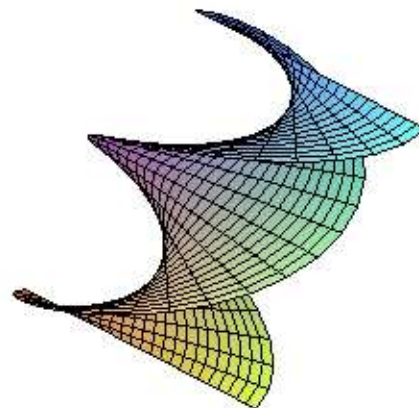


Figure 2. Binormal surface of $\bar{\beta}$

REFERENCES

- [1] Choi, J. H., & Kim, Y. H. (2012). Associated curves of a Frenet curve and their applications. *Applied Mathematics and Computation.*, 218, 9116-9124.
- [2] Choi, J. H., Kim, Y. H., & Ali, A. T. (2012). Some associated curves of Frenet nonlightlike curves in E_1^3 . *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 394, 712-723.
- [3] Do Carmo, M. P. (1976). *Differential Geometry of Curves and Surfaces*. Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- [4] Gray, A. (1993). *Modern Differential Geometry of Curves and Surfaces with Mathematica 2nd ed.* Boca raton, Fl: Crc Press.
- [5] Izumiya, S., & Takeuchi, N. (2003). Special curves and ruled surfaces. *Beitrage zur Algebra Und Geometrie, Contributions to Algebra and Geometry*, 44(1), 203-212.
- [6] Izumiya, S., & Takeuchi, N. (2004). New special curves and developable surfaces. *Turkish Journal of Mathematics*, 28, 153-163.
- [7] Kızıltuğ, S., & Önder, M. (2015). Associated curves of Frenet curves in three dimensional compact Lie group. *Miskolc Mathematical Notes*, 16(2), 953-964.
- [8] Körpınar, T., Sarıaydın, M. T., & Turhan, E. (2013). Associated curves according to Bishop frame in Euclidean 3-space. *Advanced Modeling and Optimization*, 15(3), 713-717.
- [9] Kula, L., & Yaylı, Y. (2005). On slant helix and spherical indicatrix. *Applied Mathematics and Computation*, 169, 600-607.
- [10] Macit, N., & Düldül, M. (2014). Some new associated curves of a Frenet curve in E^3 and E^4 . *Turkish Journal of Mathematics*, 38, 1023-1037.
- [11] O'Neill, B. (2006). *Elementary Differential Geometry*. Academic Press.
- [12] Scofield, P. D., (1995). Curves of constant precession. *American Mathematical Monthly*, 102(6), 531-537.
- [13] Yu, Y., Liu, H., & Jung, S. D. (2014). Structure and characterization of ruled surfaces in Euclidean 3-space. *Applied Mathematics and Computation*, 233, 252-259.

Araştırma Makalesi - Research Article

Bölgesel-Evrişimsel Sinir Ağları ile Retina Görüntülerindeki Lezyonların Tespiti

Süleyman Uzun^{1*}

Geliş / Received: 28/01/2020

Revize / Revised: 09/03/2020

Kabul / Accepted: 26/03/2020

ÖZ

Şeker hastalığı gözün yapısını etkileyen ve görme kayıplarına sebep olan bir hastalıktır. Göz yapısında çok çeşitli lezyon türlerinin oluşmasına neden olur. Retina görüntüleri üzerinde bulunan bu lezyonlar farklı hastalıkların belirtisi olmaktadır. Bu hastalıkların başında en bilineni diyabetik retinopati rahatsızlığıdır. Bu rahatsızlığı erken teşhis ve tedavisinde lezyonların tespiti oldukça önemli olmaktadır. Yapılan çalışmada, retina görüntüleri üzerinde bulunan lezyonların tespiti için Bölgesel-Evrişimsel Sinir Ağları temelli bilgisayar destekli tespit sistemi önerilmiştir. Önerilen bu sistemle göz hastalıkları alanında çalışan uzmanların teşhis ve tedavisine destek olması hedeflenmiştir. Çalışmada kullanılan retina görüntüleri STARE, DIARETDB0 ve DIARETDB1 veri tabanlarından elde edilmiştir. Kullanılan veri tabanlarında bulunan görüntülerin %70'i eğitim ve %30'u test görüntüsü olarak ayrılmıştır. Bölgesel-Evrişimsel Sinir Ağları, eğitim aşamasında çok fazla veriye ihtiyaç duymasından dolayı eğitim görüntülerin etiketlenmesi amacıyla dikdörtgen şeklinde ve tek görüntü üzerinden birden fazla alanın seçilmesine imkan sağlayan bir bölge seçicide tasarlanmıştır. Retina görüntüleri derin öğrenme uygulamalarında sıkça kullanılan cifar-10 ön-eğitilmiş ağı üzerinde eğitilmiştir. Eğitimler sonunda yapılan test işlemlerinde STARE, DIARETDB0 ve DIARETDB1 veri tabanlarında sırasıyla lezyonu bölgeyi bulma başarımları %91, %98.53 ve %93.01 doğruluk ile başarılı bir şekilde tespit etmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Retina Görüntüleri, Bölgesel-Evrişimsel Sinir Ağları, Derin Öğrenme, R-CNN*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: suleyman.uzun@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-8246-6733>)
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilecik, Türkiye

Detection of Lesions On Retinal Images Using The Regional-Convolutional Neural Networks

ABSTRACT

Diabetes is a disease that affects the structure of the eye and causes vision loss. It causes a wide variety of lesion types in the eye structure. These lesions on the retina images are symptoms of different diseases. The most well-known of these diseases is diabetic retinopathy. Detection of lesions is very important in early diagnosis and treatment of this ailment. In the study, a computer-assisted detection system based on Regional-Evolutionary Neural Networks has been proposed for the detection of lesions on the retinal images. With this proposed system, it is aimed to support the diagnosis and treatment of specialists working in the field of eye diseases. Retina images used in the study were obtained from STARE, DIARETDB0 and DIARETDB1 databases. 70% of the images in the databases used are devoted to education and 30% to test images. Regional-Evolutionary Neural Networks are designed in a region selector that allows multiple areas to be selected over a single image in order to tag educational images since they require a lot of data during the training phase. Retina images are trained on the cifar-10 pre-trained network, which is frequently used in deep learning practices. In the test operations performed at the end of the trainings, STARE, DIARETDB0 and DIARETDB1 databases successfully detected the lesion in the database with 91%, 98.53% and 93.01% accuracy, respectively.

Keywords- *Retina images, Regional-Convolutional Neural Network, Deep Learning, R-CNN*

I. GİRİŞ

Retina üzerinde bulunan lezyonlar farklı hastalıkların sebebi olabilmektedir. Diyabetik retinopati (DR), maküler dejenerasyonu, glukoma vb. Özellikle DR hastalığı zamanında tedavi edilmesi gereken bir göz hastalığıdır. Bu hastalığın erken teşhisi retina üzerindeki lezyonlara bakılarak yapılabilmektedir. Eğer zamanında tedavi edilmezse görme kayıplarına yol açabilmektedir [1]. Dünya üzerindeki bütün körlük vakalarının %5'i DR hastalığından kaynaklanmaktadır [2]. Bu sebeplerden dolayı retina üzerindeki lezyonların zamanında tespit edilmesi ileride olabilecek hastalıkların önüne geçilmesi ve körlük vakalarının azalmasına katkı sağlayacaktır. Uzmanlar bu lezyonları tespit etmek için kamera yardımıyla retina görüntülerini alıp inceleyerek ve lezyonlara bakarak hastalıkları teşhis etmektedirler. Uzmanların yoğun çalışma tempolarında teşhis sürecinde bazı lezyonların gözden kaçırabilmektedirler. Bu sebeplerden dolayı yapılan bu çalışma ile lezyonların tespiti için Bölgesel-Evrişimsel Sinir Ağları (B-ESA) temelli Bilgisayar Destekli Tespit Sistemi (BDTS) önerilmiştir. Önerilen bu sistem ile göz hastalıkları alanında çalışan uzmanlara destek olunması amaçlanmıştır.

Literatürde retina görüntüleri üzerindeki lezyonların tespit edilmesi amacıyla farklı teknikler kullanılmaktadır. Singh vd. yaptıkları çalışmada [3], retina görüntülerini DR hastalığının olup olmaması şeklinde iki farklı sınıf ve DR hastalığının 5 aşamasına göre beş farklı sınıfta derin öğrenme tekniklerinden Evrişimsel sinir ağları (ESA) ile sınıflandırmışlardır. İki sınıf için başarımlarını %71 ve beş sınıf için başarımlarını %56 olarak hesaplamışlardır. Kasım [4], retina görüntüleri üzerinde bulunan lezyonların tespiti için retina görüntüleri adaptif histogram eşitleme ve medyan filtreden geçirecek çok seviyeli otsu yöntemiyle 5 ayrı alana bölmektedir. Dördüncü alanda yer alan lezyonlu bölgeyi Markov Rastsal alanı oluşturarak yenilenmiş koşullu model ile analiz etmektedir. STARE ve DRIVE veritabanlarından seçtiği 53 hastalıklı 27 sağlıklı görüntü ile hastalıklı görüntülerdeki lezyonların %86 başarımla tahmin etmiş ve sağlık görüntüler üzerinde herhangi bir lezyonun olmadığını ise %96 başarımla tahmin etmiştir. Quellec vd. [5], DR'nin ilk belirtisi olan mikroanevrizmaların (microaneurysms) saptanması ve yaşa bağlı maküler dejenerasyonu damgasını taşıyan drusen'in tespit edilmesi için bir çerçeve sunmuşlardır. Mikroanevrizmaların tespitini %92, drusen'in tespitini ise %85 doğruluk ile tespit etmişlerdir. Rocha vd. [1], retina görüntüleri üzerindeki DR ile ilişkili kırmızı ve parlak lezyonların özel bir ön işlem gerektirmeden tespit edebilecek bir algoritma sunmuşlardır. Deneysel çalışmalarında %88.1 ve %89.3'lük bir başarımla elde etmişlerdir. Murugan vd. [6], DR'nin ilk ve klinik belirtisi olan Retinal Mikroanevrizmalar'ı giriş retina görüntüleri arasından lokalize etmek için otomatik bir sistem önermektedirler. Çalışmalarında DIREVE, STARE ve DIARETDB0 veri setlerini kullanmışlardır. Mevcut sistemlerle karşılaştırıldıklarında daha kısa zaman almaktadır ve DR'nin tarama işlemine yardımcı olduğu gözlemlenmiştir. Atilla vd. [7], DR hastalarının retinalarındaki eksuda lezyonlarını otomatik olarak tespit etmek amacıyla SURF anahtar nokta algoritması ile özellik çıkartımı yaparak Destek Vektör Makineleri, Çok Katmanlı Algılayıcılar ve Rasgele Orman Algoritması ile lezyonları tespit etmişlerdir. DIARETDB0 ve DIARETDB1 veri tabalarında bulunan görüntüler üzerinde yaptıkları deneylerde sırasıyla %95.8 ve %92.4 doğrulukla Rasgele Orman Algoritması en başarılı sonucu verdiğini gözlemlemişlerdir. Carrera vd. [8], DR'yi önceden tespit etmek amacıyla retina görüntülerinin sayısal olarak işlenmesi temeline dayanan bilgisayar destekli bir tanı önermektedirler. Bu sayede proliferatif olmayan DR'nin derecesini otomatik olarak sınıflandırmayı hedeflemişlerdir. Sınıflandırmak için Destek Vektör Makinelerini kullanmışlardır. Deneysel çalışmalarda Messidor veri setini kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda %94.6 başarımla elde etmişlerdir.

Tablo 1. Retina görüntüleri üzerindeki lezyon tespiti için yapılan çalışmalar

Çalışmalar	Uygulanan Metot	Başarımlar
Singh vd. 2019 [3]	Evrişimsel sinir ağları	%71
Murugan vd. 2019 [6]	Kendilerinin önerdiği bir metot	-
Kasım 2018 [4]	Adaptif histogram eşitleme ve Otsu algoritması	%86
Rocha vd. 2012 [1]	Kendilerinin önerdiği bir metot	%88.1 - %89.3
Quellec vd. 2011 [5]	Kendilerinin önerdiği bir metot	%85 - %92
Atilla vd. 2020 [7]	Destek Vektör Makineleri, Çok Katmanlı Algılayıcılar ve Rasgele Orman Algoritması	%95.8 - %92.4
Carrera vd. [8]	Destek Vektör Makineleri	%94.6

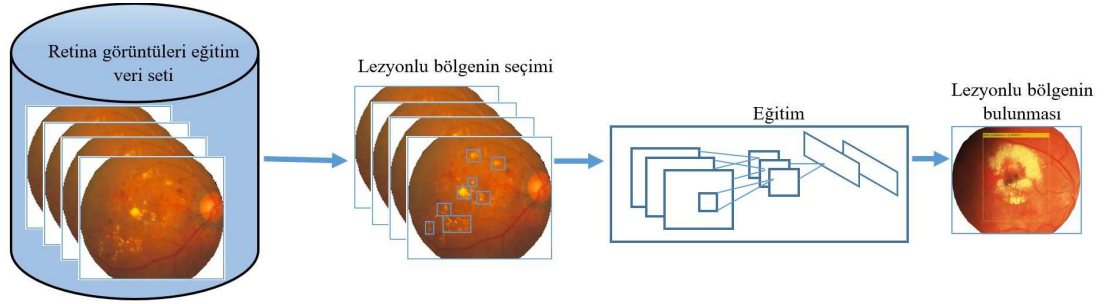
Nesne tanıma işlemi, bir görüntü içerisinde nesnenin görüntünün neresinde olduğu ve kapladığı alanın sınırlarının tespiti olarak tanımlanabilir. B-ESA da nesne tanıma işlemlerinde literatürde sıkça kullanılan ve yüksek başarımlar elde edilen bir derin öğrenme modelidir. Dandil vd. [9], daha hızlı B-ESA kullanarak, sığırların yüz görüntülerini sınıflandırarak tanınması işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalarında beş farklı sığır ağıza ait 1129 görüntüyü eğitim, 450 görüntüyü test işlemlerinde kullanmışlardır. Sığır yüz görüntülerini ön-egitimli ağız üzerinde eğitimlerini gerçekleştirdikten sonra test işlemlerinde %98.44 doğruluk ile sınıflandırmışlardır. Kürşat ve Dandil [10], 23 farklı hastaya ait 1218 Bilgisayarlı Tomografi (BT) kesitinden elde edilen görüntülerden 99 tanesini iyi huylu, 115 tanesini kötü huylu olmak üzere toplam 214 adet görüntüyü etiketlemişlerdir. Bu görüntülerin 160 tanesini eğitim, 54 tanesini ise test için kullanmışlardır. Ön eğitilmiş ağız yardımıyla ESA kullanarak iyi huylu ve kötü huylu nodüller olarak sınıflandırmışlar ve %75 test başarımları elde etmişlerdir. Arı vd. [11], beyin MR görüntülerinden beyinde bulunan tümörü ve tümörün yerini belirten bilgisayar destekli otomatik tümör tespit sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistem B-ESA tabanlı olup dört farklı şekilde sistem geliştirmişlerdir. Bütün testlerini Benchmark, Rembrandt ve Harvard veri setleri üzerinde gerçekleştirmişlerdir. En iyi sonucu %99.10 ile B-ESA4 mimarisi ile Benchmark veri setinden elde etmişlerdir. Dandil ve Polattimur [12], köpek davranışlarının tespit edilerek sınıflandırılması amacıyla daha hızlı B-ESA'ya dayalı bir sistem önermişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalarda ağız açma hareketini %94, dil çıkarma hareketini %98, koku alma hareketini %99.33, kulak dikme hareketini %99.33, kuyruk sallama hareketini %98 ve oyun oynama davranışını %98.67 doğrulukla tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, global veri setleri içerisinde bulunan retina görüntüleri üzerindeki lezyonların tespit edilebilmesi için B-ESA tabanlı bir BDTS önerilmiştir. Önerilen sistem ile diğer yapılan çalışmalara göre daha iyi başarımlar elde edilmiştir. Önerilen B-ESA sisteminin başarımlarını arttırmak amacıyla, her bir görüntü üzerinden farklı noktalarda bulunan lezyonlu bölgeler üzerinde etiketleme yapılmıştır. Tek lezyonlu bölge seçimine göre B-ESA'nın başarımlarının %75'lerden ortalama %90 ve üzerine çıktığı gözlemlenmiştir. Önerilen BDTS'nin teşhis ve karar alma noktalarında bu alanın uzmanlarına yardımcı olabileceği öngörülmektedir.

II. METERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan retina görüntüleri üzerindeki lezyonları tespit etmek amacıyla STARE [13], [14] veri setinde bulunan görüntüler kullanılmıştır. Eğitim aşamasında kullanılan görüntüler MATLAB ortamında geliştirilmiş dikdörtgen şekilde alan seçebilen bir uygulama ile etiketlenmiştir. Bu uygulama, retina görüntüleri üzerinde farklı noktalarda çok fazla lezyon olduğu için tek bir görüntü üzerinde birden fazla alan seçebilecek şekilde tasarlanmıştır. Veri setindeki görüntülerin bir kısmı eğitim için bir kısmı ise test amacıyla ayrılmıştır. Sadece eğitim için kullanılan görüntüler üzerinde etiketleme işlemleri yapılarak derin öğrenme ağı eğitilmiştir. Sonrasında daha derin öğrenme ağının test görüntüleri üzerindeki lezyonlu bölgeleri bulması sağlanmıştır. Ağın eğitim için kullanılabilir cifar-10/cifar-100 ön eğitilmiş ağı kullanılabılır. Cifar-10, veri büyüme yapılmadan sınıflandırma başarımları cifar-100'e göre çok daha yüksek olduğu için tercih edilmiştir. Cifar-10 ön eğitilmiş ağı, 10 sınıf, 50.000 adet eğitim görüntüsü ve 10.000 adet test görüntüsü kullanılarak eğitilmiş bir ağıdır [15].

Önerilen sistemin BDTS'nin mimarisi ve akış şeması Şekil 1'de görülmektedir. STARE veri seti içerisindeki sağlıklı görüntüler çıkartılarak tamamen hastalıklı görüntüler elde edilmiştir. Bunlar içerisinde %30 ve %70 olarak ayrılacak 20 adet test görüntüsü olarak ayrılmış ve geriye kalan 338 görüntü eğitim görüntüsü olarak ayrılmıştır. Bu eğitim görüntüleri üzerinde birden fazla ve dağınık şekilde lezyonlar bulunmaktadır. Bütün bu lezyonları etiketlemek amacıyla MATLAB ortamında tek bir görüntü üzerinden birden fazla alan seçen bir yazılım geliştirildi. Bu yazılımla tek bir retina görüntüsü üzerinde bulunan bütün lezyonlar tek tek etiketlenmiştir. Etiketlenen eğitim görüntüleri cifar-10 ön eğitilmiş ağı kullanılarak eğitime tabi tutulmuştur. Son aşamada ise 20 adet test görüntüsü üzerinde test edilmiştir.



Şekil 1. Önerilen BDTS sisteminin mimarisi ve akış şeması [1]

A. Çalışmada Kullanılan Veri Seti

Çalışmada STARE, DIARETDB0 ve DIARETDB1 gibi farklı veri tabanlarından retina görüntüleri kullanılmıştır. Genel olarak görüntülerin %70'i eğitim görüntüsü, %30'u ise test görüntüsü olarak ayrılmıştır. Veri setlerindeki DR belirtisi olan bölgeler veri setini oluşturan kişiler tarafından alanında uzman olan kişilere işaretletilmiş görüntülerdir. Veri setinin oluşturulması aşamasında STARE veri seti içerisinde bulunan görüntüler içerisindeki sağlıklı görüntüler ayırt edilmiştir.

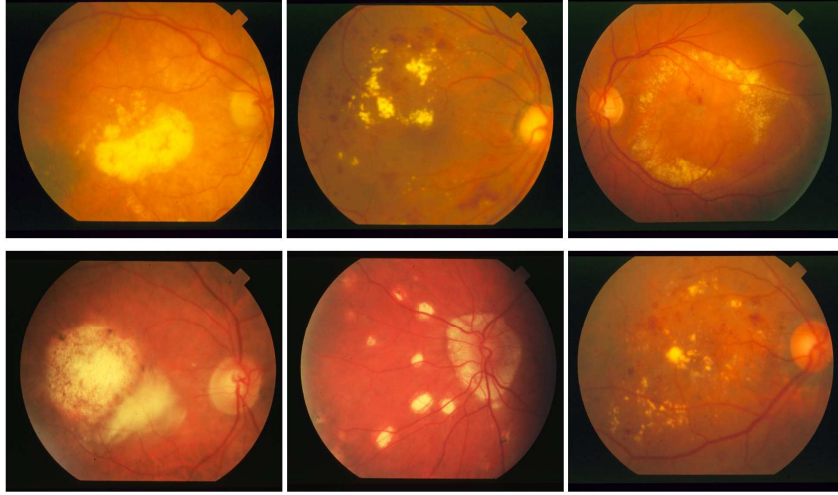
1) STARE veri seti: STARE (Hoover, 2000; Hoover & Goldbaum, 2003) veritabanında bulunan 400 adet görüntüden 358 adet retina görüntüsü alınmıştır. Diğer 42 görüntü ise sağlıklı retina görüntüleri olduğu için çalışmaya dahil edilmemiştir. Görüntüler, 700×605 çözünürlükte ve 24 bit renk derinliğine sahiptir. 358 adet retina görüntüsünün 108 adeti test aşamasında ve 250 adet retina görüntü ise eğitim aşamasında kullanılmıştır. STARE veritabanında bulunan 358 adet retina görüntüleri üzerinde bulunan lezyonlar farklı hastalıkların belirtisi olabilmektedir. Bu görüntüler üzerindeki lezyonlara bakılarak 2 farklı uzman tarafından yapılan teşhislerde Tablo 2'de gösterilen farklı hastalıklar tespit etmiş ve her bir görüntü için bu hastalıklar ayrı ayrı belirtilmiştir (Goldbaum, 2004).

Tablo 2. STARE veritabanında bulunan retina görüntülerine koyulan teşhisler

Teşhis Numarası	Teşhis	Kullanılan Kısaltma
1	Hollenhorst Emboli	Emboli
2	Branch Retinal Artery Occlusion	BRAO
3	Cilio-Retinal Artery Occlusion	CRAO
4	Branch Retinal Vein Occlusion	BRVO
5	Central Retinal Vein Occlusion	CRVO
6	Hemi-Central Retinal Vein Occlusion	Hemi-CRVO
7	Background Diabetic Retinopathy	BDR/NPDR
8	Proliferative Diabetic Retinopathy	PDR
9	Arteriosclerotic Retinopathy	ASR
10	Hypertensive Retinopathy	HTR
11	Coat's	
12	Macroaneurism	
13	Choroidal Neovascularization	CNV

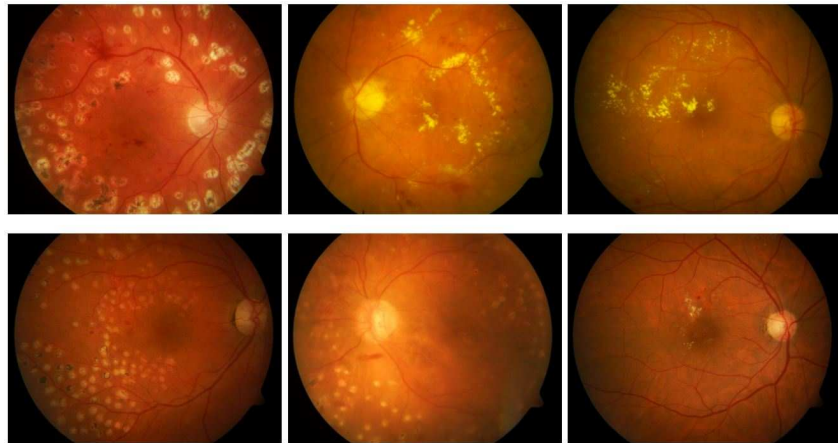
Kullanılan görüntüler üzerindeki lezyonlar dağınık ve çok fazla olduklarından bunların tespiti için B-ESA temelli BDTS'nin eğitim aşamasında kullanılan görüntüler üzerindeki lezyonların etiketlenmesi amacıyla karesel şekilde ve tek görüntü üzerinde birden fazla alanı seçen MATLAB uygulama geliştirilmiştir. Bu sayede

250 adet görüntüden toplamda 2446 bölge işaretlenmiştir. Şekil 2’de retina görüntüleri veri setinde bulunan örnek görüntüler sunulmuştur.



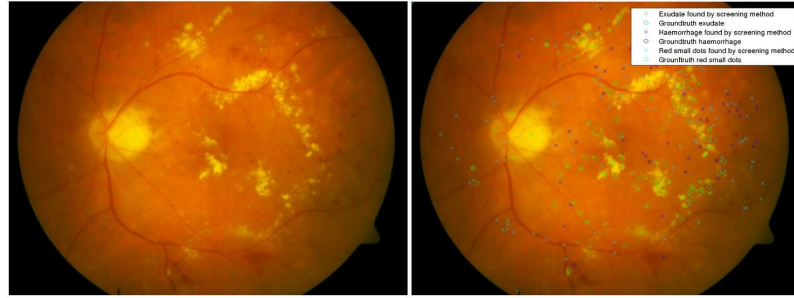
Şekil 2. STARE veri setinde bulunan örnek retina görüntüleri

2) *DIARETDB0 veri seti*: DIARETDB0 [16] veri seti, 20 adeti normal ve 110 adeti DR belirtileri olan (sert eksüda, yumuşak eksüda, mikronanalizmalar, kanamalar ve neovaskülarizasyon) toplam 130 adet renkli retina görüntüsünü içermektedir. Görüntüler 50 derecelik görüş alanına sahip dijital fundus kamera ile elde edilmiştir. Bu veri setindeki görüntüler 1500×1152 çözünürlüğe sahiptir. Görüntülerden 39 adeti test aşamasında ve 91 adet retina görüntü ise eğitim aşamasında kullanılmıştır. DIARETDB0 veri seti içerisinde bulunan örnek görüntüler Şekil 3’de gösterilmektedir.



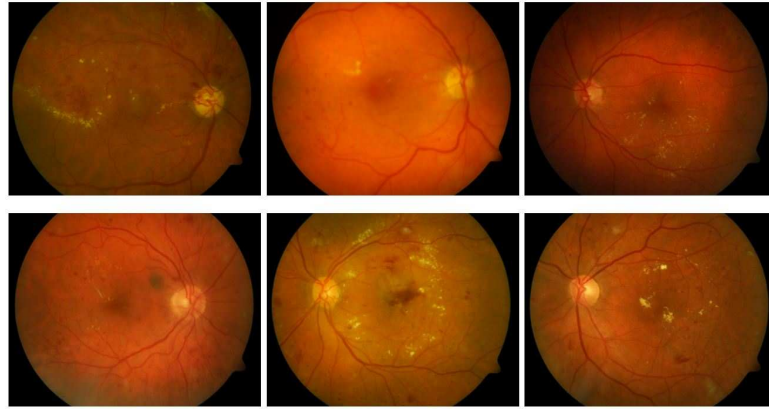
Şekil 3. DIARETDB0 veri setinde bulunan örnek retina görüntüleri

DIARETDB0 veri seti içerisindeki retina görüntülerin her biri üzerinde bulunan DR belirtileri Şekil 4’de gösterildiği işaretlenerek veri seti ile birlikte paylaşılmıştır. Yapılan çalışmada lezyonlu bölgelerin seçimler bu işaretli görüntülerden faydalanılarak yapılmıştır.



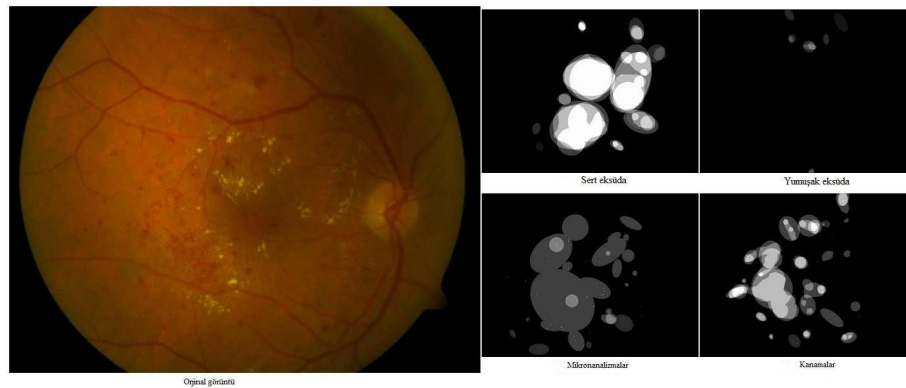
Şekil 4. Orijinal retina görüntüsü ve uzman tarafından işaretlenmiş DR belirtileri

3) *DIARETDB1 veri seti*: DIARETDB1[17] veri seti, 84 adet DR'nin mikroanevrizmalarını içerdiği 5 adeti ise DR belirtisi içermeyen görüntüler olmak üzere toplam 89 adet renkli retina görüntülerinden oluşmaktadır. Görüntüler 50 derecelik görüş alanına sahip dijital fundus kamera ile elde edilmiştir. Bu veri setindeki görüntüler 1500×1152 çözünürlüğe sahiptir. Görüntülerden 27 adeti test aşamasında ve 62 adeti ise eğitim aşamasında kullanılmıştır. Şekil 5'de DIARETDB1 veri setinde bulunan örnek retina görüntüleri gösterilmektedir.



Şekil 5. DIARETDB1 veri setinde bulunan örnek retina görüntüleri

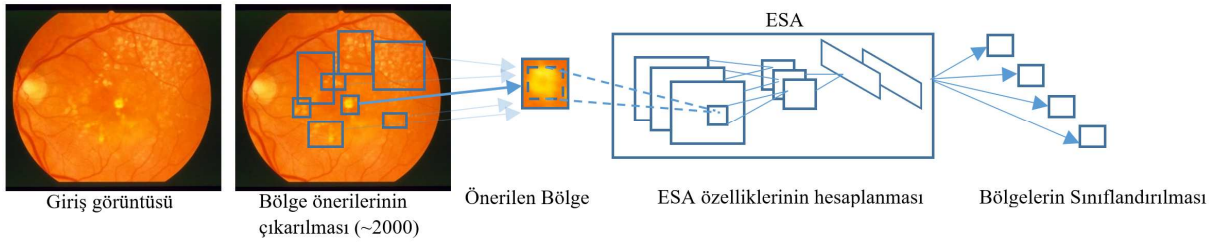
DIARETDB1 veri seti içerisindeki retina görüntülerin her biri üzerinde bulunan DR belirtileri Şekil 6'da gösterildiği işaretlenerek veri seti ile birlikte paylaşılmıştır. Yapılan çalışmada lezyonlu bölgelerin seçimler bu işaretli görüntülerden faydalanılarak yapılmıştır.



Şekil 6. Orijinal retina görüntüsü ve uzman tarafından işaretlenmiş DR belirtileri

B. Bölgesel Evrimsel Sinir Ağları

Derin öğrenme, çok büyük sayıda verileri kullanarak bu verilerden denetimli veya denetimsiz olarak özellik çıkarma ve sınıflandırma gibi işlemleri yapabilen çok katmanlı bir yapıya sahip makine öğrenmesinin bir alt sınıfı olarak incelenmektedir [9][18]. Derin öğrenme yöntemlerinden biri olan ESA, sadece görüntü sınıflandırması için kullanılmaz aynı zamanda ham görüntüler üzerinden otomatik bir şekilde özellik çıkarma işlemlerini de gerçekleştirmektedir. Görüntüler üzerindeki özellikleri otomatik olarak seçtiğinden dolayı da nesne tanıma uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. ESA, derin öğrenmenin özelleşmiş bir mimarisidir ve özellikle görüntü işleme uygulamalarında başarılıdır [19]. Nesne tespiti uygulamalarında ESA'lar bir görüntü içerisinde tespit edilmek istenen nesnelere farklı boyutlarda bulabilmektedir. Bundan dolayı çok fazla alanın taraması gerekmektedir. Ayrıca farklı boylardaki nesnelere tanımak için de bütün nesnelere en boy oranlarını da kontrol etmek zorundadır. Bu gibi çok fazla sayıda bölgede yapılan tarama işlemleri oldukça fazla zaman almaktadır. B-ESA mimarisi ESA mimarisinin bu fazla zaman alan kısmını gidermek amacıyla oluşturulmuş bir ağıdır. B-ESA ağlarında evrim işleminden önce görüntü içerisinde nesne olabilecek alanlar önceden belirlenmektedir. Böylece ağın bakacağı alanlar kısıtlanmış olacak ve yapılan işlemlerin süresi de oldukça azalacaktır [20], [21]. B-ESA'nın alt yapısı bölgesel nesne tanıma öncelikli olduğu için nesne tanıma uygulamalarında ESA ya göre daha fazla tercih edilmektedir [11][22][23].



Şekil 7. B-ESA ağ yapısı [24]

B-ESA ağ yapısı Şekil 7'de gösterilmektedir. Giriş görüntüsü ESA ağına verilmeden önce nesne olması muhtemel bölgeler seçilmektedir. Seçilen her bir bölge ESA ağına verilerek her bir seçilen bölge için özelliklerin hesaplanması sağlanmaktadır. Son aşamada ise sınıflandırma işlemleri yapılmaktadır. B-ESA'da nesne olması muhtemel bölge önerileri için herhangi bir özel algoritma kullanılmaz. Yapılan çalışmada önerilen bölgeler elle belirlenmiş ve Şekil 8'de gösterildiği gibi .mat dosyasına kaydedilmiştir. Belirlenen her bir bölge ayrı ayrı ESA katmanına sokulmaktadır. Burada seçilen bölgeler, çalışmada kullanılan veri setleri içerisinde bulunan ve her bir görüntüdeki lezyonlu bölgeler konunun uzmanları tarafından işaretlenmiş bölgelere bakılarak yapılmıştır.

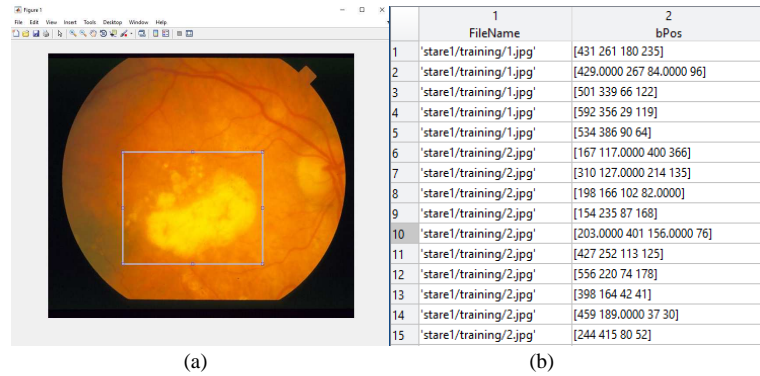
III. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada STARE, DIARETDB0 ve DIARETDB1 veri setinde bulunan retina görüntüleri kullanılarak, bu görüntüler üzerinde bulunan lezyonların tespiti B-ESA tabanlı BDTS sistemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan bütün uygulamalar MATLAB ortamında kod geliştirilerek gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen bütün uygulamalar özellikleri Tablo 3'de verilen bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Deneysel çalışmalarda kullanılan bilgisayar konfigürasyonu

Donanım	Özellik
Merkezi İşlem Birimi (CPU)	Intel® Core™ i7-3770 3.40GHz (8 CPUs)
Bellek (RAM)	16 GB (DDR3 166MHz)
AnaKart	ASUS P8H77-V LE
Grafik Kartı (GPU)	Nvidia GeForce GTX980, 4 GB RAM
Harddisk (HDD)	256 GB SSD HDD

B-ESA ağlarında, bölge önerilerinin çıkartılması aşamasında kullanılan ve her bir veri setinde eğitim görüntüleri üzerindeki lezyonların işaretlenmesi amacıyla bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama ile bir retina görüntüsü üzerinden sadece bir adet lezyonlu bölge işaretlenmiştir. Sonrasında yapılan eğitim ve test işlemleri sonucunda düşük başarımlar elde edilmiştir. Geliştirilen bu uygulama B-ESA ağlarına daha fazla lezyonlu bölge önerisi sunmak amacıyla tek bir görüntü üzerinden birden fazla lezyonlu bölgeyi seçebilecek şekilde geliştirilmiştir. Bu sayede STARE veri setinde eğitim aşamasında kullanılan 250 adet görüntüden 2446 lezyonlu bölge, DIARETDB0 veri setinde eğitim aşamasında kullanılan 91 adet görüntüden 1547 lezyonlu bölge ve DIARETDB1 veri setinde eğitim aşamasında kullanılan 62 adet görüntüden 801 lezyonlu bölge seçilmiştir. Şekil 8.a'da retina görüntüleri üzerindeki lezyonlu bölgenin seçimi, Şekil 8.b'de ise seçilen bölgelerin konum bilgilerinin ".mat" dosyasına kaydedilmiş halleri görülmektedir. Şekil 8.b'ye bakıldığında sadece bir görüntü için birden fazla farklı alanların seçildiği görülmektedir. Bu şekilde lezyonlu bölgelerle ilgili toplanan birçok veri ile geliştirilen B-ESA tabanlı BDTS sisteminin başarımı arttırılmıştır.



Şekil 8. Tek görüntü üzerinden birden çok farklı bölgelerin seçim işlemi

DeneySEL çalışmada ağın eğitimi retina görüntüleri üzerindeki lezyonlu bölgelerin konum bilgilerinin olduğu ".mat" dosyasının B-ESA ağına sunulmasıyla başlamaktadır. Eğitim algoritması, 0.001 momentum değerinde başlangıç öğrenme oranı, 100 adım sayısı ve 50 tekrarlar sayısı kullanılarak çalıştırılmıştır. Sonrasında her bir retina görüntüsü için test veri seti ile kıyaslama yapılmaktadır. Bu kıyaslama sonucunda geliştirilen sistemin lezyonlu bölgeyi tespit etme başarımını sağlamaktadır. Tablo 4'de eğitim aşamasında elde edilen başarımlar tablosu görülmektedir.

Tablo 4. ESA eğitim aşamasında elde edilen başarımlar

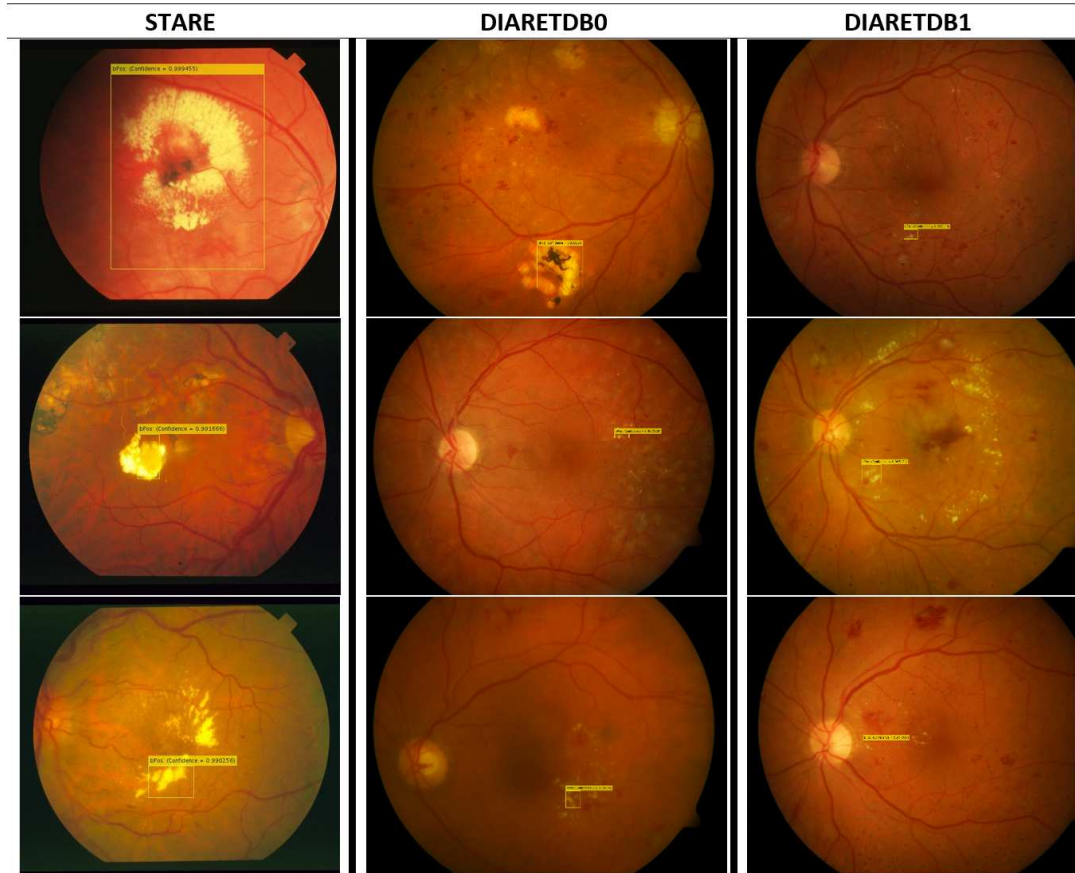
Adım Sayısı	STARE		DIARETDB0		DIARETDB1	
	Kazanç (%)	Kayıp	Kazanç (%)	Kayıp	Kazanç (%)	Kayıp
91	96.88	0.0658	95.00	0.1523	96.72	0.0849
92	97.48	0.0612	92.97	0.1634	97.54	0.0753
93	93.37	0.0816	97.66	0.0982	96.88	0.0895
94	98.44	0.0587	89.84	0.2384	100.00	0.0322
95	99.22	0.0505	97.66	0.0833	95.31	0.1292
96	98.36	0.0505	94.53	0.1227	99.22	0.0590
97	99.19	0.0324	96.85	0.1522	95.31	0.1261
98	100.00	0.0177	94.53	0.1296	93.75	0.1871
99	100.00	0.0128	93.44	0.1372	95.31	0.0971
100	100.00	0.0168	95.61	0.1211	100.00	0.0002

Yapılan eğitimler sonucunda ağ test görüntüleri üzerinde test edilmiş ve lezyonlu bölgeyi tespit etme başarımları STARE, DIARETDB0 ve DIARETDB1 veri setleri için sırasıyla %91, %98.53 ve %93.01 olarak ölçülmüştür. Yapılan çalışmadan elde edilen başarımların literatür ile karşılaştırılması Tablo 5’de gösterilmektedir.

Tablo 5. Yapılan çalışmanın literatürde yapılan çalışmalarla karşılaştırılması

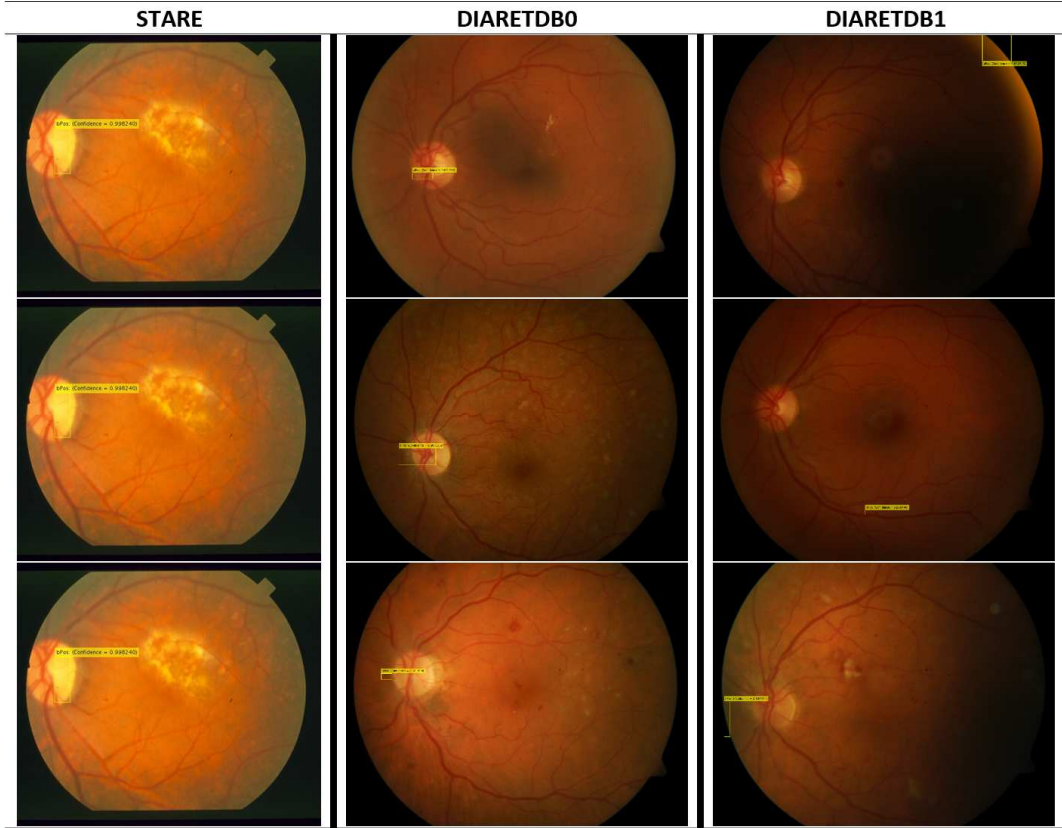
Çalışmalar	Açıklama	Başarım (%)			
		STARE	DIARETDB0	DIARETDB1	Diğer
Atilla vd. [7]		-	95.8	92.4	-
[5]		-	85	92	-
Carrera vd. [8]	Messidor Veri Seti	-	-	-	94.6
Kasım [4]	DRIVE Veri Seti	86	-	-	96
Sighn [3]	Messidor Veri Seti	-	-	-	71
Rocha [1]	Messidor Veri Seti	-	-	88.1	89.3
Sunulan Çalışma		91.00	98.53	93.01	-

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda önerilen B-ESA temelli BDTS sisteminin kullanılan veri setlerindeki retina görüntüleri üzerindeki lezyonlu bölgeyi başarılı bir şekilde bulduğu örnek görüntüler Şekil 9’da gösterilmektedir.



Şekil 9. Retina görüntüleri üzerindeki lezyonlu bölgelerin iyi derecede sınıflandırılma sonuçları için örnek çerçeveler

Şekil 10'da geliştirilen sistemin lezyonlu bölge yerine göz merceğini bulduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise göz merceğinin yapısının lezyonların yapısına çok benzemesinden kaynaklanmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmek için seçilen lezyonlu bölge sayısının artırılması gerekmektedir. Ayrıca lezyonlu bölgeleri çok farklı açılardan seçilmesi de bu gibi sorunların üstesinden gelmek için izlenecek yollardan biri olabilir.



Şekil 10. Geliştirilen sistemin retina görüntüleri üzerindeki lezyon dışındaki bölgeleri bulduğu sonuçlar için örnek çerçeveler

IV. SONUÇLAR

Retina görüntülerindeki lezyonlu bölgelerin önceden tespit edilmesi hastalığın teşhis ve tedavisi için kritik öneme sahiptir. Yapılan bu çalışmada, retina görüntüleri üzerinde bulunan lezyonların tespit edilmesi amacıyla B-ESA temelli BDTS sistemi önerilmiştir. Önerilen bu sistem ile DR'nin erken teşhis ve tedavisinde göz hastalıkları alanında çalışan uzmanlara yardımcı olması öngörülmektedir. Bu amaçla deneysel çalışmalar STARE, DIARETDB0 ve DIARETDB1 gloabl veri setleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Veri setlerinden elde edilen görüntüler %70'i eğitim ve %30'u test aşamasında kullanılmak üzere ayrılmıştır. Eğitim aşamasından önce eğitimde kullanılan görüntüler üzerindeki lezyonlar etiketlenmiştir. Geliştirilen B-ESA temelli BDTS sistemine uygun olacak şekilde etiketleme işlemini gerçekleştirecek çoklu alan seçme özelliğine sahip bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama ile gözün farklı bölgelerinde bulunan lezyonların işaretlenmesi sağlanmıştır. Lezyonlu bölgelerin işaretlenmesinden sonra B-ESA ağına işaretli bölge bilgileri ve eğitim görüntüleri verilerek eğitim yapılmıştır.

Yapılan eğitimler sonucunda ağı daha önce hiç görmediği test görüntüleri üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Test çalışmaları sonucunda STARE veri seti üzerinde %91, DIARETDB0 veri seti üzerinde %98.53 ve DIARETDB1 veri seti üzerinde %93.01 doğrulukla lezyonlu bölgelerin tespit edildiği

gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlar göre, literatürde retina görüntüleri üzerindeki lezyonların tespit edilmesi çalışmalarında önerilen sistemin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Sonraki çalışmalarda B-ESA'nın test görüntüleri üzerinde lezyon olma ihtimali olan birden fazla alanın bulunarak işaretlenmesi sağlanacaktır. Ayrıca yapılan bu çalışma Hızlı B-ESA, Daha Hızlı B-ESA ve Mask B-ESA teknikleri ile de test edilerek en iyi sonucu veren derin öğrenme ağ modeli tespiti de yapılacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Rocha, A., Carvalho, T., Jelinek, H. F., Goldenstein, S., & Wainer, J. (2012). Points of interest and visual dictionaries for automatic retinal lesion detection. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 59(8), 2244–2253. <https://doi.org/10.1109/TBME.2012>.
- [2] Salomão, S. R., Mitsuhiro, M. R. K. H., & Belfort Jr, R. (2009). Visual impairment and blindness: an overview of prevalence and causes in Brazil. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 81(3), 539–549. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652009000300017>.
- [3] Singh, T. M., Bharali, P., & Bhuyan, C. (2019). Automated detection of diabetic retinopathy. In 2019 2nd International Conference on Advanced Computational and Communication Paradigms, ICACCP 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICACCP.2019.8882914>.
- [4] Kasim, Ö. (2018). Detection of lesions on the retina image. In 26th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2018 (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SIU.2018.8404532>.
- [5] Quellec, G., Russell, S. R., & Abramoff, M. D. (2011). Optimal Filter Framework for Automated, Instantaneous Detection of Lesions in Retinal Images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 30(2), 523–533. <https://doi.org/10.1109/TMI.2010.2089383>.
- [6] Murugan, R., Albert, A. J., & Nayak, D. K. (2019). An Automatic Localization of Microaneurysms in Retinal Fundus Images. In 6th IEEE International Conference on Smart Structures and Systems ICSSS 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICSSS.2019.8882858>.
- [7] Atila, Ü., Akyol, K., & Sabaz, F. (2020). Retinal Görüntülerde Eksuda Lezyonlarının Tespiti Üzerine Bir Çalışma. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 13(1), 27–36. <https://doi.org/10.17671/gazibtd.550022>
- [8] Carrera, E. V., Gonzalez, A., & Carrera, R. (2017). Automated detection of diabetic retinopathy using SVM. In 2017 IEEE XXIV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON) (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INTERCON.2017.8079692>.
- [9] Dandıl, E., Turkan, M., Boğa, M., & Çevik, K. K. (2019). Daha Hızlı Bölgesel-Evrişimsel Sinir Ağları ile Sığır Yüzlerinin Tanınması. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6, 177–189. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.592099>
- [10] Çevik, K. K., & Dandıl, E. (2019). Classification of Lung Nodules Using Convolutional Neural Networks on CT Images. In 2nd International Turkish World Engineering and Science Congress (pp. 27–35). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/338385647_Classification_of_Lung_Nodules_Using_Convolutional_Neural_Networks_on_CT_Images
- [11] Ari, A., & Hanbay, D. (2019). Tumor detection in MR images of regional convolutional neural networks. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(3), 1395–1408. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.460535>.

- [12] Dandil, E., & Polattimur, R. (2019). Daha hızlı bölgesel evrişimsel sinir ağları ile köpek davranışlarının tanınması ve takibi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(2), 819–834. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.541677>.
- [13] Hoover, A. (2000). Locating blood vessels in retinal images by piecewise threshold probing of a matched filter response. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 19(3), 203–210. <https://doi.org/10.1109/42.845178>.
- [14] Hoover, A., & Goldbaum, M. (2003). Locating the optic nerve in a retinal image using the fuzzy convergence of the blood vessels. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 22(8), 951–958. <https://doi.org/10.1109/TMI.2003.815900>
- [15] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Vol. 2016-Decem, pp. 770–778)*. IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>.
- [16] Kauppi, T., Kalesnykiene, V., Kamarainen, J.-K., Lensu, L., Sorri, I., Uusitalo, H., Kälviäinen, H., Pietilä, J. (2007). DIARETDB0: Evaluation Database and Methodology for Diabetic Retinopathy Algorithms. Retrieved from https://www.it.lut.fi/project/imageret/diaretdb0/doc/diaretdb0_techreport_v_1_1.pdf
- [17] Kauppi Tomi, Kalesnykiene Valentina, Sorri Iris, Raninen Asta, Voutilainen Raija, Kamarainen Joni, L. L. and U. H. (2009). DiaRetDB1: Diabetic Retinopathy Database and Evaluation Protocol. Retrieved from http://www.it.lut.fi/project/imageret/diaretdb1_v2_1/
- [18] Nie, X., Duan, M., Ding, H., Hu, B., & Wong, E. K. (2020). Attention Mask R-CNN for Ship Detection and Segmentation From Remote Sensing Images. *IEEE Access*, 8, 9325–9334. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964540>
- [19] Rodin, C. D., de Lima, L. N., de Alcantara Andrade, F. A., Haddad, D. B., Johansen, T. A., & Stovold, R. (2018). Object Classification in Thermal Images using Convolutional Neural Networks for Search and Rescue Missions with Unmanned Aerial Systems. In *2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) (Vol. 2018-July, pp. 1–8)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2018.848946>
- [20] İnik, Ö., & Ülker, E. (2017). Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD) Gaziosmanpaşa Journal of Scientific Research Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri. *GAZİOSMANPAŞBilimsel AraştırmDergisi*, 6(3), 85–104. Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/gbad>
- [21] Le, P.-P., Nguyen, V.-T., Guo, S.-M., Tu, C.-T., & Lien, J.-J. J. (2019). Visual-Guided Robot Arm Using Multi-Task Faster. *2019 International Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence (TAAI)*, 2–7. <https://doi.org/10.1109/TAAI48200.2019.8959938>
- [22] Fang, F., Li, L., Zhu, H., & Lim, J.-H. (2019). Combining Faster R-CNN and Model-Driven Clustering for Elongated Object Detection. *IEEE Transactions on Image Processing*, 29, 1–1. <https://doi.org/10.1109/tip.2019.2947792>
- [23] He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2020). Mask R-CNN. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 42(2), 386–397. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2018.2844175>
- [24] Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014). Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation. In *2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 580–587)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2014.81>

Araştırma Makalesi - Research Article

Doğadan Toplanan *Festuca valesiaca* L. Genotiplerinde Morfolojik Farklılığın Belirlenmesi

Damla Pınar^{1*}, Mehmet Ali Avcı²

Geliş / Received: 17/12/2019

Revize / Revised: 30/12/2019

Kabul / Accepted: 31/12/2019

ÖZ

Çalışmada kullanılan materyaller 1130919 no' lu TÜBİTAK projesinden elde edilmiştir. Projede 530 civarında *Festuca valesiaca* genotipi toplanmıştır. Materyaller fide halinde 2015 yılı Temmuz-Ağustos ayları içerisinde 0.5m x 0.5m aralıklarla S.Ü. Ziraat Fakültesi deneme tarlasına dikilmiştir. Deneme gözlem ve ölçümleri 2016 - 2017 vejetasyon döneminde alınmıştır. Doğadan toplanmış olan meşe yumağı (*Festuca valesiaca* L.) genotiplerin de yeşil alan ve yem bitkisi olarak kullanılabilirlik bakımından belirli tarımsal özellikleri belirlenip ve bu özellikler doğrultusunda üstün olan genotiplerden 50 adedi seçilmiştir. Çalışma sonucunda, *Festuca valesiaca*'nın çim kalitesi 6.73; mevsimsel renk değişimi 5.08; yaprak dokusu 2.89; yoğunluk 5.39; bitki boyu 26.70 cm; yaprak eni 0.22 cm; yaprak boyu 6.15 cm; sonbaharda büyüme şekli 4.74; bitki çapı 11.49 cm; ilkbaharda büyüme zamanı 5.10; salkım oluşturma eğilimi 4.15; salkım boyu 5.81 cm; son boğum uzunluğu 17.68 cm; yeşil ot verimi skalası 3.57 olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler değerlendirilip, bu bitkilerin mera ve yem bitkileri tarımında ayrıca yeşil alan tesisinde kullanılabilir potansiyelleri ortaya konularak ve ıslah çalışmaları için temel verileri belli olan genetik materyaller elde edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar geniş coğrafik yapıya sahip bölgelerde mevcut varyasyonun kullanılması ile genetik tabanı genişletmek ve mevcut varyasyonun boyutunu öğrenmek ıslah çalışmalarında gerekli olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu çalışmanın ileride yapılacak benzer karakterizasyon, seleksiyon ve ıslah çalışmalarına önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çim Kalitesi, Meşe Yumağı, Morfolojik Özellikler

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: damlapinar52@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-0107-9772>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, KONYA.

²İletişim: mavci@selcuk.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-2448-8779>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, KONYA.

Determination of Morphological Diversity in *Festuca valesiaca* L. Genotypes Collected from the Nature

ABSTRACT

The materials used in the study were obtained from TUBITAK project number 113O919. Around 530 *Festuca valesiaca* genotypes were collected in the project. Materials in seedlings in July-August 2015 0.5m x 0.5m intervals in S.Ü. Faculty of Agriculture was planted in the trial field. Experimental observations and measurements were taken in 2016-2017 vegetation period. Oak fescue (*Festuca valesiaca* L.) genotypes collected from nature were determined in terms of usability as green field and forage crops and 50 of these genotypes were selected according to these characteristics. As a result of the study, the grass quality of *Festuca valesiaca* is 6.73; seasonal color change 5.08; leaf texture 2.89; density 5.39; plant height 26.70 cm; leaf width 0.22 cm; leaf height 6.15 cm; growth in autumn 4.74; plant diameter 11.49 cm; growth time in spring 5.10; cluster tendency 4.15; cluster length 5.81 cm; last internode length 17.68 cm; green grass yield scale was determined as 3.57. By evaluating these data, the potential of these plants to be used in pasture and forage crops agriculture and green field facility were revealed and genetic materials with basic data for breeding studies were obtained. The results obtained in this study show that it is necessary to improve the genetic base by using the existing variation in regions with large geographical structure and to learn the extent of the existing variation in breeding studies. In addition, this study is thought to make a significant contribution to future characterization, selection and breeding studies.

Keywords- *Grass Quality, Oak Fescue, Morphological Characteristics*

I. GİRİŞ

Genetik çeşitlilik ve gen kaynakları yönünden ülkemiz oldukça zengindir. Çevresel ve diğer faktörler yönünden gen kaynaklarımız erozyona uğramakta ve yok olma tehlikesi yaşamaktadır. Özellikle, tarımı yapılan türlere ait bitki genetik kaynaklarındaki çeşitliliğin korunması, bitkisel üretimin devamlılığı bakımından önemlidir. Ülkemiz doğal florası pek çok buğdaygil yem bitkisinde olduğu gibi yumak genotiplerince de zengin bir çeşitliliğe sahiptir [1].

Bölgenin florasının bilinmesi bir bölgede doğal vejetasyonun korunması ve geliştirilmesi, bitki ıslah materyalinin sağlanması ve çeşitlendirilmesi, bitki gen kaynaklarının korunması gibi bilimsel çalışmaların sürdürülebilmesi için gereklidir [2]. İleri de gerekli olduğunda geçmişte var olan kaynakların bulunamama ihtimali oldukça yüksektir. Böyle durumlar karşısında, doğal floramızda bulunan çim bitkilerini kullanarak yeni çeşitler ıslah etmemiz ve gen kaynaklarımızı kendimize kullanarak ekonomiye katkı ve değer kazandırmamız gerekmektedir [3].

Orta Anadolu Bölgesi de yıllardan beri sürdürülen aşırı otlama ve bilinçsiz kullanım çayır – mera vejetasyonlarında bulunan arzulanan türlerin yok olmasına ve biyolojik çeşitliliğin hızlı bir şekilde daralmasına neden olmaktadır. Bu sorun ülkemizde de aynı durumdadır. Yerli genotipler; aşırı otlama, çayır ve meraların tarıma açılması gibi etkilerin yanı sıra, yerleşim alanlarına dönüştürülmesi ve çevresel kirlenme sonucunda yok olma tehlikesi ile karşılaşmaktadır. Ülkemizin iklim koşullarına iyi adapte olamayan yabancı çeşitler yok olmaktadır. Ülkemizde çayır meraların bir kısmında bitki örtüsü önemli ölçüde azalmış, bu alanlar erozyona açık duruma gelmişlerdir. Diğer bir kısım çayır – mera alanlarında da kaliteli otlar az miktarda bulunmakta, mevcut bitkilerin çoğunluğunu yabancı ot karakterinde ve hayvanlar tarafından değerlendirilmeyen otlar oluşturmaktadır. Doğal yapının bozulmuş olması mera durumunu tehdit etmektedir. Buna karşılık yem bitkileri tarımında ve çayır-mera ıslahında kullanılabilecek doğal vejetasyondan seçilip çoğaltılmış ve test edilmiş bitki materyali yoktur. Bunun için doğal florada bulunan yem bitkisi türlerinin belirlenmesi ve uygunluğunun tespit edilmesi şarttır [4]. Dış mekanların önemli bir bölümünü oluşturan yeşil alan bitkileri mimari ve estetik açıdan kullanılmakta ve insanın gereksinim duyduğu dinlenme ortamını sağlamaktadır. Bu bitkilerin tohumları ithal edilmekte ve önemli döviz kaybı olmaktadır. Kuzey Avrupa ve Kuzey Amerika’da ıslah edilmiş çeşitlerin bölgemiz ekolojisine, var olan hastalık ve zararlıların tür ve ırklarına yeterince dayanıklı olmaması, kuruluş ve bakım masraflarını artırmaktadır. Yıl boyu çim kalitesini koruyabilmek için bu yabancı çeşitler gübreleme, sulama, hastalık ve zararlılarla mücadele gerektirmekte ve yeşil alan maliyetini bir hayli yükseltmektedir. Ülkemizde her bölgeye ve amaca uygun çim türleri açısından kendi doğal kaynaklarını değerlendirerek özgün çim çeşitlerini geliştirecek çalışmalar oldukça azınlıktadır [5].

Ülkemizde bu tür konular ile yeterli araştırmacı, araştırma ve yayın bulunmamaktadır. Bu çalışmamızda hem yeşil alan hem de yem bitkisi amacı ile doğadan toplanmış olan yumak materyalleri ıslah çalışmalarına alt yapı niteliğinde bir çalışma olduğu için yukarıda bahsedilen sorunların çözümüne yarar sağlayacaktır.

Bu sorunların çözümünde ise önemli bir yere sahip olan *Festuca* cinsi Dünyada yaklaşık 450 tür ve alt türü bulunurken ülkemizde ise doğal olarak 52 adet türü dağılım göstermektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılacak materyaller, Mehmet Ali AVCI tarafından yürütülen TÜBİTAK 1130919 nolu “Doğal florada bulunan çim ve yem olarak kullanılabilecek bazı buğdaygil yem bitkilerinin toplanması ve ıslah amaçlı Kullanılması” adlı proje kapsamında, 2014 yılının Nisan – Temmuz ayları arasında toplanan 530 adet *Festuca valesiaca* türüne ait bitkilerden seçilen 50 adet genotipi kapsamaktadır. Hem köklü bitki hem de tohum olarak toplanmış olan yumak genotipleri 16 farklı ilden (Ankara, Çankırı, Çorum, Yozgat, Eskişehir, Afyon, Konya, Aksaray, Niğde, Karaman, Kırşehir, Kayseri, Kırıkkale, Sivas, Mersin ve Antalya) toplanmıştır.

Doğadan tohum olarak toplanmış olan bitkiler serada saksılara ekilerek, köklü bitki olarak toplanmış olanlar ise saksılara dikilerek gelişmeleri sağlanmıştır. Sera şartlarında, yeterince büyüme gösteren genotipler fide halinde 2015 Temmuz-Ağustos aylarında araziye şaşırtılmıştır.

Materyaller fide halinde 2015 yılı Temmuz-Ağustos ayları içerisinde 0.5m x 0.5m aralıklarla S.Ü. Ziraat

Fakültesi deneme tarlasına dikilmiştir. Bitkiler salkım oluşturdukları zaman tür ve alttür ayrımları yapılmıştır. Dikim yapılmış olan bitkiler için sulama, gübreleme, yabancı ot mücadelesi ve biçim gibi normal çim bakım teknikleri düzenli olarak uygulanmıştır.

Arazide bulunan bu bitkilerde çim ve yem bitkisi olmak üzere iki amaca yönelik bitkisel ve tarımsal özellikler incelenmiştir. Gözlem ve ölçümler 2016-2017 yıllarında alınmıştır. Yapılan ölçüm ve gözlemler International Union for The Protection Of New Varieties Of Plants (UPOV) kriterleri Tamkoç ve arkadaşlarının [6-7], kullandığı yöntemler esas alınarak uygulanmıştır.

Araştırmada yapılan gözlem ve ölçümler

1- Çim kalitesi (1-9 skalası): Çim kalitesi renk, yoğunluk, üniformite, doku (tekstür), hastalık ya da çevresel streslere tepkimesinin bir kombinasyonu görsel olarak değerlendirilmiştir. Skala değerleri: 1= En zayıf/kötü, 6= Kabul edilebilir, 9= Üstün veya ideal

2- Mevsimsel Renk Değişimi (1-9 skalası): Bitkilerin renkleri belirlenirken mevsimlere göre ayrı ayrı belirlenmiştir. İlkbahar ve sonbaharda, yaz ve kış dönemlerinde renk gözlem ve ölçümleri yapılmıştır. Mevsimsel renk hastalık ya da böceklerin zararlarını, besin maddelerinin eksikliği yada çevresel streslere bağlı olarak renk farklılıklarını başarılı bir şekilde ayırt etmede kullanılabilir. Rengini muhafaza edebilme; mevsim değişikçe rengini koruyabilme kabiliyetidir. Görsel olarak 1-9 skalası kullanılarak ve skala değerleri:1= Saman sarısı-kahverengi, 9= Koyu yeşil olarak değerlendirilmiştir.

3- Yaprak Dokusu (1-9 skalası): Yaprak dokusu, yaprak genişliğinin görsel ölçümüdür. Değerlendirme salkım teşkil edebilecek bir gövdenin gelişmiş yaprağı dikkate alınarak yapılmıştır. Skala değerleri 1= Dar/narin, 5= Orta 9=Geniş/kaba olarak değerlendirilmiştir.

4- Yoğunluk (1-9 skalası): Çim yoğunluğu birim alandaki sürgün miktarının görsel olarak tahmin edilmesidir. Sürgün yoğunluğu yılın farklı zamanlarına göre değişir. Yoğunluk gözlemleri, ilkbahar, yaz ve sonbaharda yapılarak iklimsel farklılıklar gözlemlenir. Görsel olarak 1-9 skalası kullanılır: 1= Çok seyrek, 3= Seyrek, 5= Orta, 7= Sık, 9= Çok sık olarak değerlendirilmiştir

5- Salkım Oluşturma Eğilimi (1-9 skalası): Bitkilerde en az üç salkım görüldüğünde her bir genotip kaydedilmiştir. Skala değerleri:1= Yok ya da zayıf, 3= Zayıf, 5= Orta, 7= Güçlü, 9= En Güçlü

6- Sonbaharda Büyüme Şekli: Sonbaharda büyüme şekli ekim yılında gözlemlenmiştir. Gözlemler bitki habitusunun toprak yüzeyi ile yaptığı açı dikkate alınmıştır. Skala değerleri: 1= Dik, 3= Yarı dik, 5= Orta, 7= Yarı yatık, 9= Yatık

7- Bitki Boyu (cm): Gelişmesini tamamlamış en az 3 sapta alınarak bitki boyu, sapların toprak yüzeyi ile en uç noktası arası arasındaki mesafenin cm cinsinden ölçülmesi ile bulunmuştur.

8- Yaprak Eni (mm): Bitki boyu ölçülen saplarda gelişmesini tamamlamış yaprağın eni ölçülerek mm cinsinden kaydedilmiştir.

9- Yaprak Boyu (cm): Yaprak eni ölçülen yaprakların yaprak boyu da cetvel yardımıyla ölçülerek cm cinsinden kaydedilmiştir.

10- Yaprak alanı (cm²): Yaprak eni ve boyunun çarpımı sonucunda cm² cinsinden hesaplanmıştır.

11- Salkım Boyu (cm): Her bir genotip için bitki boyu ölçülen 3 sapta, salkım üzerindeki en altındaki başakçığın çıktığı yer ile en üstteki başakçığın arasındaki mesafe cm cinsinden ölçülerek belirlenmiştir.

12- Son Boğum Uzunluğu (cm): Bitki boyu ölçülen sapların, bayrak yaprağın çıktığı boğumdan ilk başakçığın çıktığı yere kadar olan mesafenin cm cinsinden ölçülmesi ile tespit edilmiştir.

13- 1000 Tohum Ağırlığı (g): Her bitkiden ayrı ayrı edilen tohumlardan sağlam olanların 4 x 100 şeklinde

sayılması, ortalamalarının alınması ve 10 ile çarpılması sureti ile hesap edilmiştir.

14- Yeşil Ot Verimi (1-9 skalası): Çiçeklenme başlangıcında (otlatma olgunluğuna geldiği zaman) görsel olarak 1-9 skalası kullanılarak her genotip için belirlenmiştir. 1= En düşük sürgün, 5= Orta, 9= En yüksek (ot tipi)

III. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Doğadan toplanmış *Festuca valesiaca* ya ait genotiplerde, 2016-2017 yıllarında incelenen morfolojik ve tarımsal özelliklere ilişkin ortalama, en küçük, en büyük, standart sapma (SD) ve değişim katsayıları (CV) Tablo 1' de gösterilmiştir.

Tablo 1. *Festuca valesiaca* Genotiplerinden Alınan Bazı Özelliklerin Ortalama, En Küçük, En Yüksek, Standart Sapma (SD) ve değişim katsayısı (CV) değerleri

Özellikler	Örnek sayısı	Ortalama	En yüksek	En düşük	SD	CV(%)
Çim Kalitesi	50 Adet	6.73	9.00	4.00	0.90	13.43
Mevsimsel renk değişimi	50 Adet	5.08	9.00	1.00	1.43	28.12
Yaprak dokusu	50 Adet	2.89	8.00	1.00	1.36	47.08
Yoğunluk	50 Adet	5.39	8.00	1.00	1.41	26.17
Salkım oluşturma eğilimi	50 Adet	26.70	73.00	3.00	13.62	51.02
Sonbaharda büyüme şekli	50 Adet	0.22	3.00	0.01	0.18	81.37
Bitki boyu (cm)	50 Adet	6.15	17.00	0.10	2.99	48.70
Yaprak eni (mm)	50 Adet	4.74	9.00	1.00	1.84	38.90
Yaprak boyu (cm)	50 Adet	11.49	47.00	0.50	5.70	49.56
Salkım boyu (cm)	50 Adet	5.10	9.00	1.00	1.83	35.91
Son Boğum Uzun. (cm)	50 Adet	4.15	9.00	1.00	2.39	57.63
1000 tohum ağırlığı (g)	50 Adet	17.68	42.00	5.00	6.71	37.93
Yeşil ot verimi	50 Adet	3.57	8.87	2.20	0.88	124.34

Ölçümü yapılan 50 adet *Festuca valesiaca* genotiplerinde yapılan gözlem ve ölçümler Tablo 1.' de verilmiştir. Tablo 1.' in incelenmesinde görüldüğü gibi ortalama değerler şöyledir. Çim kalitesi 6,73; mevsimsel renk değişimi 5,08; yaprak dokusu 2,89; yoğunluk 5,39; bitki boyu 26,70 cm; yaprak eni 0,22 cm; yaprak boyu 6,15 cm; sonbaharda büyüme şekli 4,74; bitki çapı 11,49 cm; ilkbaharda büyüme zamanı 5,10; salkım oluşturma eğilimi 4,15; salkım boyu 5,81 cm; son boğum uzunluğu 17,68 cm; yeşil ot verimi 3,57 olarak gözlemlenmiş veya ölçülmüştür. Bu projede elde edilen değerler çalışmaların uzun süreli yapılmasıyla daha sağlıklı olacaktır. Çünkü projeye incelenen çok yıllık bitkilerin bitkisel özellikleri her yıl farklılık gösterebiliyor. Burada önemli olan verim ve kaliteyi uzun yıllar devam ettirebilmektir.

F. valesiaca türünde yaprak dokusunun ince-orta kalınlıkta olması, çim kalitesi yüksek olan genotiplerin olması, mavi-yeşil renkli, kısa boylu ve yoğunluğu yüksek, genotiplerin olmasından dolayı çim tipi alanlarda yeni alternatif bir tür olarak değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Tablo 2. *Festuca valesiaca*'nın incelenen özellikler arasındaki korelasyon katsayıları (r)

	ÇK	MR	YD	YO	BB	YE	YB	SB	ÇA	İB	BE	BBY	SBU	YOY
ÇK	1													
MR	0.241**	1												
YD	0.026	-0.071	1											
YO	0.169**	0.128**	0.033	1										
BB	0.192**	0.017	0.243**	0.047	1									
YE	0.087*	0.012	0.451**	0.069	0.297**	1								
YB	0.046	0.007	0.295**	0.130**	0.510**	0.289**	1							
SB	-0.037	-0.008	-0.003	0.05	-0,016	0,03	-0,05	1						
ÇA	0.130**	0.097*	0.233**	-0.093	0.498**	0.244**	0.409**	0.216**	1					
İB	-0.011	-0.179**	0.138*	-0.059	0.455**	0.046	0.236**	0.225**	0.252**	1				
SB	0.08	-0,078	0.153**	0.047	0.514**	0.115*	0.305**	0.250**	0.222**	0.739**	1			
SOE	-0.085	0.048	0.018	0.161**	0.228**	0.094	0.196**	-0.048	-0.009	0.227**	0.246**	1		
SBU	0.078	0.083	0.117*	0.180**	0.597**	0.224**	0.274**	0.049	0.081	0.053	0.146*	0.470**	1	
YOY	0.025	0.035	-0.02	0.154**	-0.005	0.033	-0.001	0.002	0.067	-0.077	-0.016	-0.048	-0.074	1

** Korelasyon 0.01 düzeyinde önemlidir. * Korelasyon 0.05 düzeyinde önemlidir. ÇK: Çim Kalitesi (1-9), MR: Mevsimsel renk değişimi (1-9) YD:Yaprak dokusu (1-9), YO:Yoğunluk (1-9), BB:Bitki boyu (cm), YE:Yaprak eni (cm), YB:Yaprak boyu (cm), SB:Sombaharda büyüme şekli (1-9), ÇA:Bitki Çapı (cm), İB:İlk baharda yeniden büyüme zamanı (1-9), SOE:Salkım oluşturma eğilimi (1-9), SB:Salkım boyu (cm), SBU:Son boğum uzunluğu (cm),YOY:Yeşil ot verimi.

Festuca valesiaca genotiplerinde incelenen bitkisel özellikler arasındaki ikili ilişkiler Tablo 2.'de görülmektedir. Tablo 2. incelendiğinde görüleceği gibi çim kalitesinde 0.01 düzeyinde mevsimsel renk değişimi, yoğunluk, bitki boyu ve bitki çapı ile olumlu ve önemli ilişki vardır. Yine çim kalitesi ile 0.05 düzeyinde yaprak eni ile olumlu ve önemli ilişki vardır. Çim kalitesi yeşil alanlarda kullanılabilme imkanları araştırılan çim bitkileri için önemli bir özelliktir. Yeşil ot verimi ile yoğunluk arasında 0.01 düzeyinde olumlu ve önemli ilişki saptanmıştır.

IV. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye florası yem bitkileri ıslahı yönünden büyük bir genetik potansiyele sahip olup çeşit geliştirmek için *Festuca* türlerinin çeşitliliği bakımından oldukça zengindir. Yerli genotiplerin seçilmesi hem ot hem de çim tipi amaçlarına uygun ıslah çalışmalarında kullanılması önemlidir. Ülkemizin iklim ve toprak yapısına uygun, verimi ve kalitesi yüksek, hastalık ve zararlılarına dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesine öncülük edebilecektir. Ayrıca Türkiye orjinli genotiplerin bu tür çalışmalarda değerlendirilmesi zaman içerisinde doğal kaynaklarımızın yok olmasını engelleyerek genetik materyallerimizin korunmasına katkı sağlayacaktır.

Türkiye’de yem açığını kapatılması ve yeşil alanlarda ihtiyaç duyulan özelliklerin karşılanması için yeni çeşitlerin geliştirilmesinde doğal kaynağımız olan yumak türlerinin kullanılması büyük önem arz etmektedir. Mevcut çalışmada Türkiye’nin farklı bölgelerinden toplanmış 50 adet *Festuca* genotipinin morfolojik ve tarımsal özellikleri belirlenmiş ve ümit vadetmektedir. Bu genotiplerde hem morfolojik hem de genetik akrabalık yakınlıkları incelenmiştir. Yapılan her iki analiz sonucunda da genetik çeşitliliğin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar geniş coğrafik yapıya sahip bölgelerde mevcut varyasyonun kullanılması ile genetik tabanı genişletmek ve mevcut varyasyonun boyutunu öğrenmek ıslah çalışmalarında gerekli olduğunu göstermektedir. Bu anlamda yapılan çalışma ülkemizde bulunan *Festuca* türlerinin morfolojik genetik yapısı bilinen biyolojik çeşitliliğinin belirlenmesi ve henüz ülkemiz için yeterli olmayan yerel çeşit ihtiyacımızın giderilmesi için hizmet edecektir. Ülkemiz gen kaynağı olarak *Festuca* türlerinin ülkemiz ekonomisine de dahil edilmesi ile ithalatın önüne geçilmiş olacak, bu konuda eksikliğin giderilmesi yanında ülke ekonomisine zirai açıdan önemli bir katkı sağlayacaktır. Ayrıca bu çalışmanın ileride yapılacak benzer karakterizasyon, seleksiyon ve ıslah çalışmalarına önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde her türlü katkı ve desteklerini sağlayan TÜBİTAK’a (TOVAK 1130919 no’lu) proje teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] Güner, A. ve Aslan, S., (2012), Türkiye bitkileri listesi:(damarlı bitkiler), Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Yayınları, p, 74-79.
- [2] Budak, Ü. (2003) Karanlıkdere Vadisi (Şefaattli-Yerköy-Yozgat) Florası. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 29-44
- [3] Şehirali, S., Özgen, M., Karagöz, A., Sürek, M., Adak, S., Güvenç, İ., Tan, A., Burak, M., Kaymak, H.Ç. ve Kenar, D. (2005) *Bitki genetik kaynaklarının korunma ve kullanımı*. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası VI. Teknik Kongresi. Cilt 1. Kozan Ofset, Ankara, 253- 273.
- [4] Davis, PH. (1985). *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, Vol: 10 (*Gramineae*), Edinburg, 173-175
- [5] Avcıoğlu, R. (1997). *Çim Tekniği (Yeşil Alanların Ekimi, Dikimi ve Bakımı)*. Ege Üniversitesi Matbaası, Bornova, İzmir, 271
- [6] Tamkoç, A., Avcı, M.A. ve Özköse, A. (2009). *Doğal florada bulunan çok yıllık çim (Lolium perenne L.) genotiplerinin toplanması ve ıslah amaçlı kullanılması*. 106O159 nolu TÜBİTAK Projesi Kesin Sonuç Raporu.
- [7] Tamkoç, A., Avcı, M.A. ve Özköse, A. (2013). *Doğal Floradan Toplanarak Bazı Bitkisel Özellikleri Belirlenmiş Çok Yıllık Çim (Lolium perenne L.) Genotiplerinin Sentetik Çeşit Islahı Yöntemiyle Geliştirilmesi*, 110O312 nolu TÜBİTAK Projesi Kesin Sonuç Raporu.

Araştırma Makalesi - Research Article

Allee Etkisi Altındaki Av-Avcı Sisteminin Zamana Bağlı Değişimi

Yadigar Şekerci^{1*}

Geliş / Received: 20/11/2019

Revize / Revised: 18/04/2020

Kabul / Accepted: 20/04/2020

ÖZ

Allee etkisi altındaki avın büyüme katkısının baskılandığı ve avcı ölüm oranının zaman içinde doğrusal olarak değiştiği av-avcı modelinin zamana bağlı dinamikleri ele alınmıştır. Bu çalışmada, av-avcı sisteminin zamana bağlı dinamik yapısı ikili adi diferansiyel denklem ile incelenmiştir. Çok sayıdaki nümerik simülasyonlar sayesinde sistemin çeşitli zamansal yapıya sahip olduğu ve sistemin avcının ölüm katsayısındaki değişim ile dengelenebileceği gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki Allee etkisi altında ve avcı popülasyonunun artmasıyla birlikte av üzerindeki baskının artması ile system, avı neslinin tükenmesine zorlamıştır ve dolayısıyla avın olmaması avcının neslini de tüketmiştir.

Anahtar Kelimeler- Av-Avcı Sistemi, Allee Etkisi, Matematiksel Modelleme

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: yadigar.firat@amasya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7545-1824>)
Matematik Bölümü, Amasya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, 05189, Amasya, Türkiye

Temporal Response of Predator-Prey System with the Allee Effect

ABSTRACT

Temporal dynamics of a predator-prey model, in which predator mortality rate varies linearly in time, is considered with the assumption that prey growth is stressed by the strong Allee effect. In this work, temporal structure of prey-predator system consisting of two coupled ordinary differential equations is examined. By means of extensive numerical simulations it is shown that the system has rich temporal structure and the system can be stabilizes with the change in predator mortality rate. Obtained results show that with an increasing stress on prey due to Allee affect and the increase in predator population size, the system push the prey to extinct and then the system is extinct due to absence of prey for predator.

Keywords- *Predator-Prey system, Allee Effect, Mathematical Modelling*

I. INTRODUCTION

The origin of the Allee term is based on an experimental study carried by Warder Clyde Allee. Allee has shown that when there are more individuals within the tank goldfish grow faster [1]. Further experiment and observations prompted him to believe that grouping will increase the individuals survival rate and that cooperation can be essential to the overall survival of society [1, 2]. When the 'Allee principle' was presented, the first focus of this issue was the competition role between species and within the species [1, 3].

The traditional population dynamics indicate that due to cooperation for same limited resources, the population undergo a diminished total growth rate at a higher density and a higher growth rate at lower density [4-9]. On the otherhand, Allee effect defences the reverse idea. According to this idea, members within a group require support from another member in order to survive, and this idea is assisted by a group defence against predators or by feeding together on prey. Hence this term can be defined as positive density dependence between any component of population density [3, 10]. Odum [11] refers to it as Allee's Principle, the idea was turned into what we now commonly consider Allee effect.

In brief, the Allee effect means that the growth rate per capita rises rather than declines with population density over a certain distance. Strong Allee effect corresponds to the growth rate per capita is negative once the density is zero and weak Allee effect corresponds to the growth rate is close to zero [1]. The Allee effect of social mammals was first described by [12], and named after the ecologist Allee [1,13-15] it has been applied to a large variety of species. Much attention has been paid to the corresponding temporal models in [16,17] and to the corresponding spatial models of predator-prey systems with spatial pattern formation have been observed in such systems [18-23]. Petrovskii et al. [24] have analyzed the effect of Allee as a potential lagging process. For a particular set of parameters, they reveal three types of regimes in which the invasive prey is influenced by the Allee effect. One of this regime is anomalous extinction which it is observed in this work in temporal case. To reveal the structure of this regime, a map is introduced to detail the different domain corresponding to different regime under the effect of Allee effect [24].

Spatial patterning of prey-predator model is examined in [24] and the temporal structure of the model is explained as a parameter plane. Hence in this work temporal structure of a predator-prey model is detailed with the addition of varying mortality rate of predator. Base on the obtained parameter plane map in [24], the Allee effect stress on the existence of species is discussed.

In this work, a model describing predator-prey interactions are studied. Temporal variations of predator mortality rate is discussed to detail the temporal response of the model which is already under the stress of strong Allee effect. Based on extensive numerical simulations, it is obtained that temporal structure of this model has rich dynamics.

II. MAIN EQUATION & EQUILIBRIUM ANALYSIS

We consider one dimension predator-prey model studied earlier in spatial case [24-27]. The nonspatial counterpart of the system is as follows:

$$\frac{du}{dt} = \gamma u(u - \beta)(1 - u) - \frac{uv}{1 + \alpha u}, \quad (1)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{uv}{1 + \alpha u} - \delta v. \quad (2)$$

Here u and v are the densities of prey and predator, respectively, at time t and δ is the predator mortality rate. Due to biological meanings all components of the system are positive. For more details on system parametrizations and its dimensional version and the procedure for being dimensionless see [24]. The systems' (1-2) steady state is a solution of the following equations:

$$\gamma u(u - \beta)(1 - u) - \frac{uv}{1 + \alpha u} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{uv}{1 + \alpha u} - \delta v = 0. \quad (4)$$

One of the steady states is extinction $E_1 = (0, 0)$ is always stable for any values of positive system parameters. Other is semi-trivial equilibrium $E_2 = (\beta, 0)$, $E_3 = (1, 0)$, extinction of predator case. The predator free steady state is saddle. See [24] for more details on the stability of these boundary states and the phase plane of the system. $E_4 = (u, v)$ is the last steady state of the system. The steady state of the coexistence system is as follows:

$$v = \gamma(u - \beta)(1 - u)(1 + \alpha u), \quad u = \frac{\delta}{1 - \delta\alpha}. \quad (5)$$

Jacobian matrix of the system (1-2) is as follows:

$$J = \begin{pmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{pmatrix}$$

where

$$J_{11} = 2u\gamma - 3u^2\gamma - \gamma\beta + 2u\gamma\beta - \frac{v}{(1 + \alpha u)^2};$$

$$J_{12} = -\frac{u}{(1 + \alpha u)^2};$$

$$J_{21} = \frac{v}{(1 + \alpha u)^2};$$

$$J_{22} = \frac{u}{(1 + \alpha u)^2} - \delta.$$

The eigenvalues are the solutions of the following characteristic equation

$$\det(J_i - \lambda I) = 0,$$

where J_i is the jacobian matrix (6), $i = 1, 2, 3, 4$, and I is the unit matrix. See [24] for further details on the stability analysis of the system.

It is presumed that at the beginning of the distribution, the domain already includes all communities at the density rate corresponding to the stationary state (\tilde{u}, \tilde{v}) with a slight perturbation in prey density. Therefore the initial condition takes the following constant form, i.e.,

$$u(x, 0) = \tilde{u} + \varepsilon, \quad v(x, 0) = \tilde{v}, \quad (7)$$

where \tilde{u} , \tilde{v} are the steady states of the system dynamics, given by Eq. (11) with $\varepsilon = 0.1$.

$$\tilde{u} = \frac{\delta}{1 - \alpha\delta}, \quad \tilde{v} = \gamma(1 + \alpha\tilde{u})(\tilde{u} - \beta)(1 - \tilde{u}). \quad (8)$$

Finite difference scheme is used for ordinary differential equations with the steps of the numerical mesh are chosen as $\Delta t = 0.05$. It is checked that these values are small enough not to results in any numerical artifacts. Since the main purpose of this work is to detail the temporal structure of the system under the light of the work is carried by [24], Fig. 14 in [24] is used as a bifurcation diagram of the system. So the parameters are chosen accordingly as $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.28$ and $\gamma = 7$.

III. NUMERICAL SIMULATIONS

The prey-predator system is examined that prey growth is damped by a strong Allee effect with the attention on changing mortality rate of predator. The rate of zooplankton mortality, i.e., δ , is defined differently in this study. The mortality rate is specified as a function of time and keep the other system parameters unchanged.

Here it is assumed the mortality rate to be a linearly decreasing function meaning that predator mortality decreases over time and this condition raises stress on prey. And then this mortality rate is taken as an increasing function to see the systems' temporal response. The reason for choosing the predator mortality rate as a different function is therefore to show a change in the dynamic structure of the system. The possible choice of δ is given as follows:

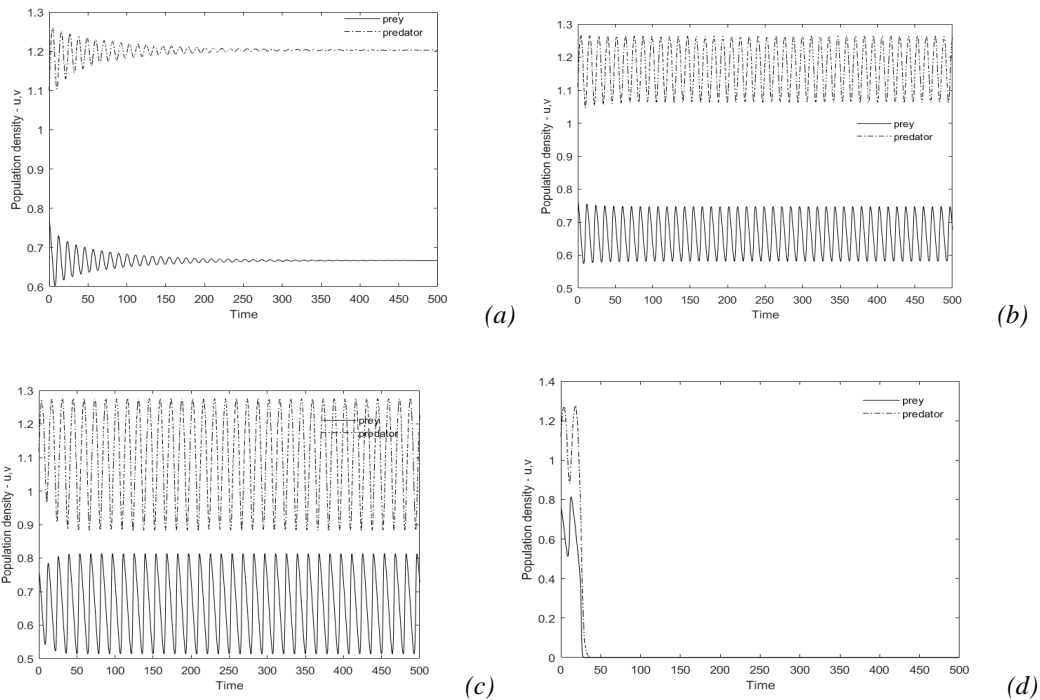


Figure 1. Snapshots of the prey (solid line) and predator (dashed-dotted line) versus time obtained for a) $\delta_t = 0.5$, b) $\delta_t = 0.497$, c) $\delta_t = 0.495$ and d) $\delta_t = 0.494$ for $t = 500$ obtained for parameters $\omega = 0$. The initial values of the system are obtained from Eqs.7-8 for given system parameters defined in Section II.

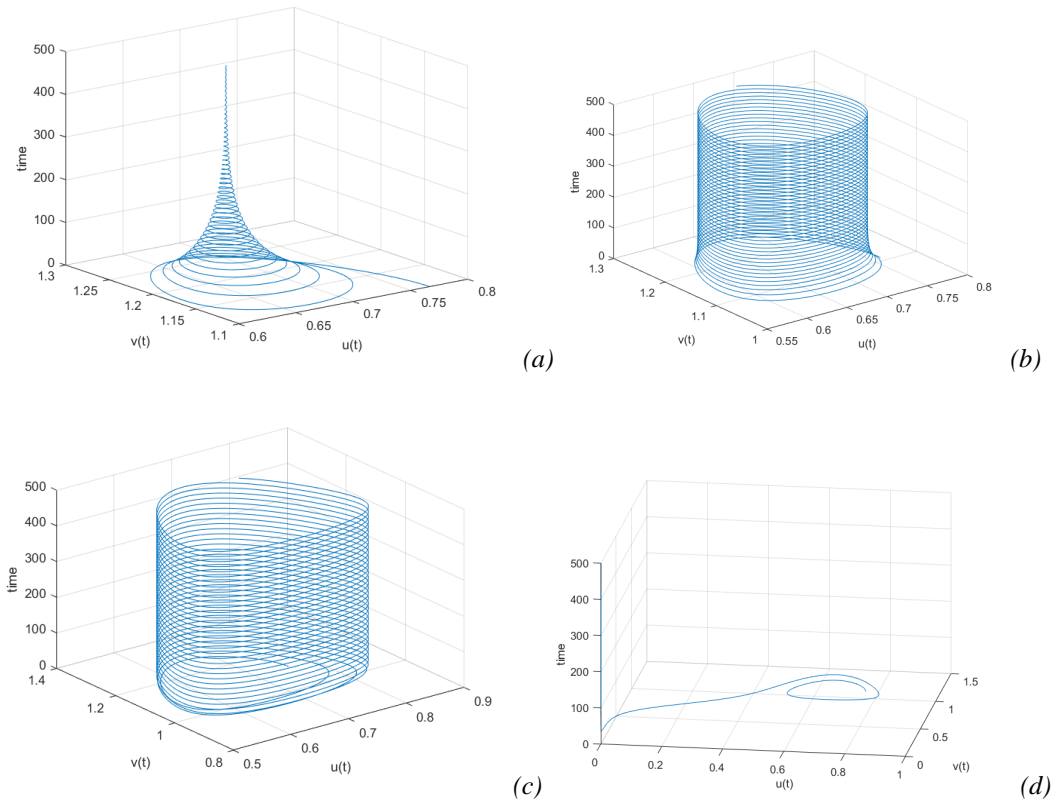


Figure 2. Phase plane structure for prey and predator for fixed values of delta in time a) $\delta_t = 0.5$, b) $\delta_t = 0.497$, c) $\delta_t = 0.495$ and d) $\delta_t = 0.494$ for $t = 500$ obtained for parameters $\omega = 0$. The initial values of the system are obtained from Eqs.7-8 for given system parameters defined in Section II.

$$\delta = \delta_t \text{ for } \omega = 0, \quad \delta = \delta_t \pm \omega(t - t_1) \text{ for } \omega > 0. \quad (9)$$

Here, t_1 is initial time, i.e., $t_1 = 0$, δ_t is predator mortality rate before the temporal change starts, and the ω quantifies the slope of the temporal change. This study aims to reveal the temporal structure of the species, both the decreasing and the increasing values of mortality rate of predator is considered.

Therefore, we give some numerical simulations for three possible approaches. The first is without a temporal change, i.e., ($\omega = 0$) in Figs. 1-2. Second is with the case of the decrease in mortality rate for ($\omega > 0$) in Figs. 3-4. The last one is the case of the increase in mortality rate for the values of ($\omega > 0$) in Figs. 5-6. It should be emphasized here that, contrary to [24], δ is taken as a function of time to see the bifurcation behavior of the system.

Figure 1 shows snapshots of prey and predator temporal distributions obtained at different values of δ for $t = 500$. For the values of $\delta_t = 0.5$, the system has damping oscillations and with a decrease in δ , i.e., $\delta_t = 0.497$, the system develops periodic oscillations and the system has a Hopf bifurcation between these values. For a decrease in δ , i.e., $\delta_t = 0.495$, the size of oscillations are increased. For a slightly further decrease in δ , i.e., $\delta_t = 0.494$, the species are extinct and the system goes to extinct after few oscillations. Fig. 2 shows the corresponding phase plane structure of the prey-predator system over given time.

Figure 3 exhibits snapshots of prey and predator temporal distributions obtained at different values of ω for $t = 2000$ and for the values of $\delta_i = 0.5$. Here $\delta = \delta_i - \omega(t - t_1)$. For $\omega = 1 \times 10^{-6}$, the system has damping oscillations for the beginning of the time and then the system stabilizes for a while at its coexistence steady state and then the system develops oscillations with an increase in size. With a slight increase in ω , i.e., $\omega = 2 \times 10^{-6}$, the system develops oscillations for different sort of size. With an increase in ω , i.e., $\omega = 3 \times 10^{-6}$, the developing oscillations are extinct suddenly between the time values $t \approx 1900$. With a further increase in ω , i.e., $\omega = 4 \times 10^{-6}$, the time for extinction observed is observed earlier than previous value of ω . And for the last value of ω , i.e., $\omega = 4 \times 10^{-4}$, the system only develops few oscillations and the species go extinct. Fig. 4 shows the corresponding phase plane structure of the prey-predator system over given time in three dimensions.

Fig. 5 displays snapshots of prey and predator temporal distributions obtained at different values of ω for $t = 2000$ and for the values of $\delta_i = 0.495$. Here $\delta = \delta_i + \omega(t - t_1)$ for $\omega = 3 \times 10^{-6}$, the system has damping oscillations for the beginning of the system and then the system stabilizes for a while at its coexistence steady state. With a decrease in ω , i.e., $\omega = 1 \times 10^{-5}$, the system again has a damping oscillations but in this case the stabilisation of the system happens earlier. With an increase in ω , i.e., $\omega = 55 \times 10^{-6}$, the damping oscillations are not stabilise at the systems' steady state. The population of the prey increase and correspondingly the population density of predator decrease in time. Finally they merge each other between the time values $t = 1800$ and $t = 2000$. With a further increase in ω , i.e., $\omega = 2 \times 10^{-4}$, due to the decrease in predator population the prey population increase first and then the system reach its carrying capacity and the population level of prey is stabilise. Fig. 6 shows the corresponding phase plane structure of the prey-predator system over given time in three dimensions to show the phase plane evolution in time.

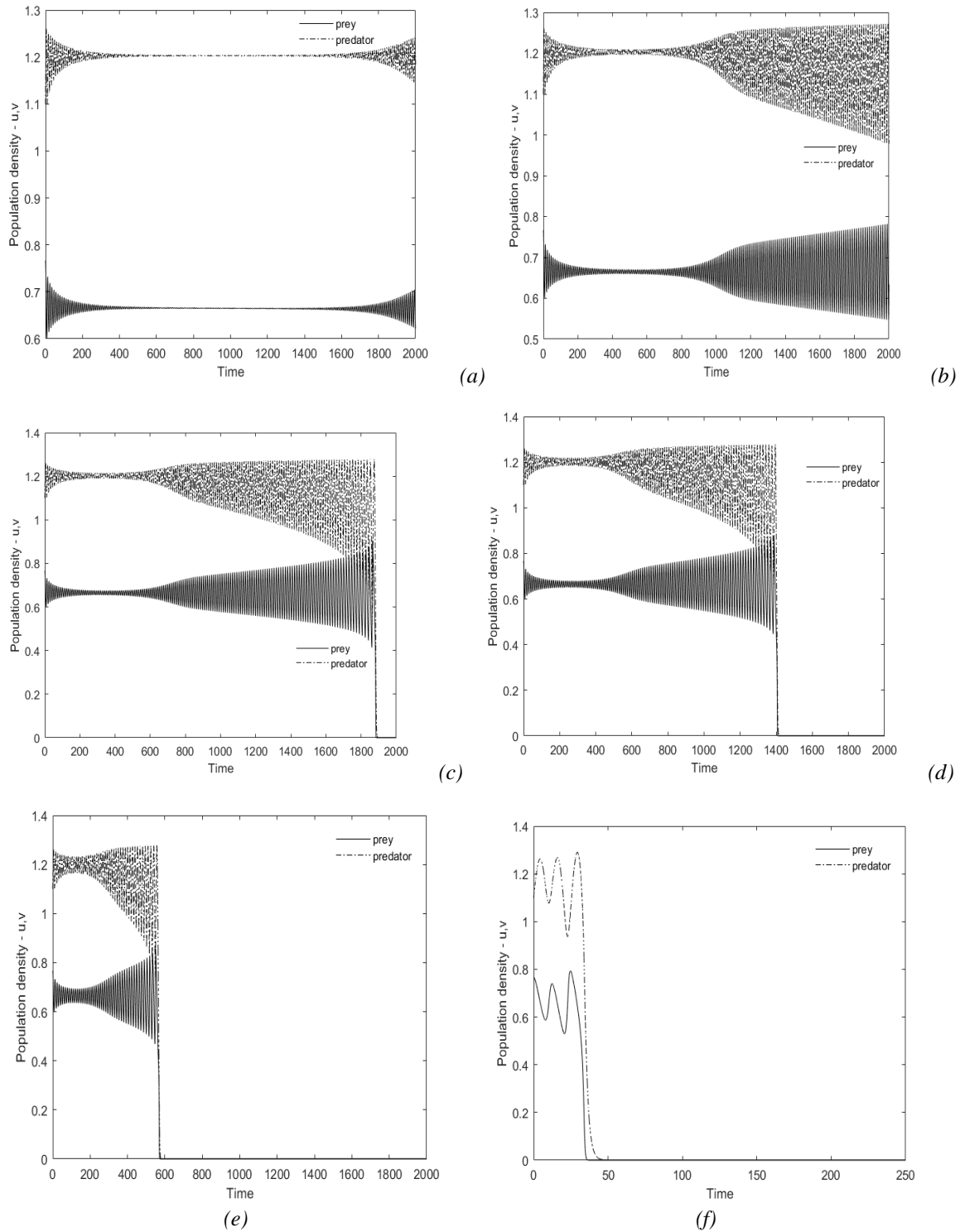


Figure 3. Snapshots of the prey (solid line) and predator (dashed-dotted line) versus time obtained for $\delta_t = 0.5$ a) $\omega = 1 \times 10^{-6}$, b) $\omega = 2 \times 10^{-6}$, c) $\omega = 3 \times 10^{-6}$, d) $\omega = 4 \times 10^{-6}$, e) $\omega = 1 \times 10^{-5}$ and f) $\omega = 4 \times 10^{-4}$ for $t = 2000$. The initial values of the system are obtained from Eqs.7-8 for given system parameters defined in Section II.

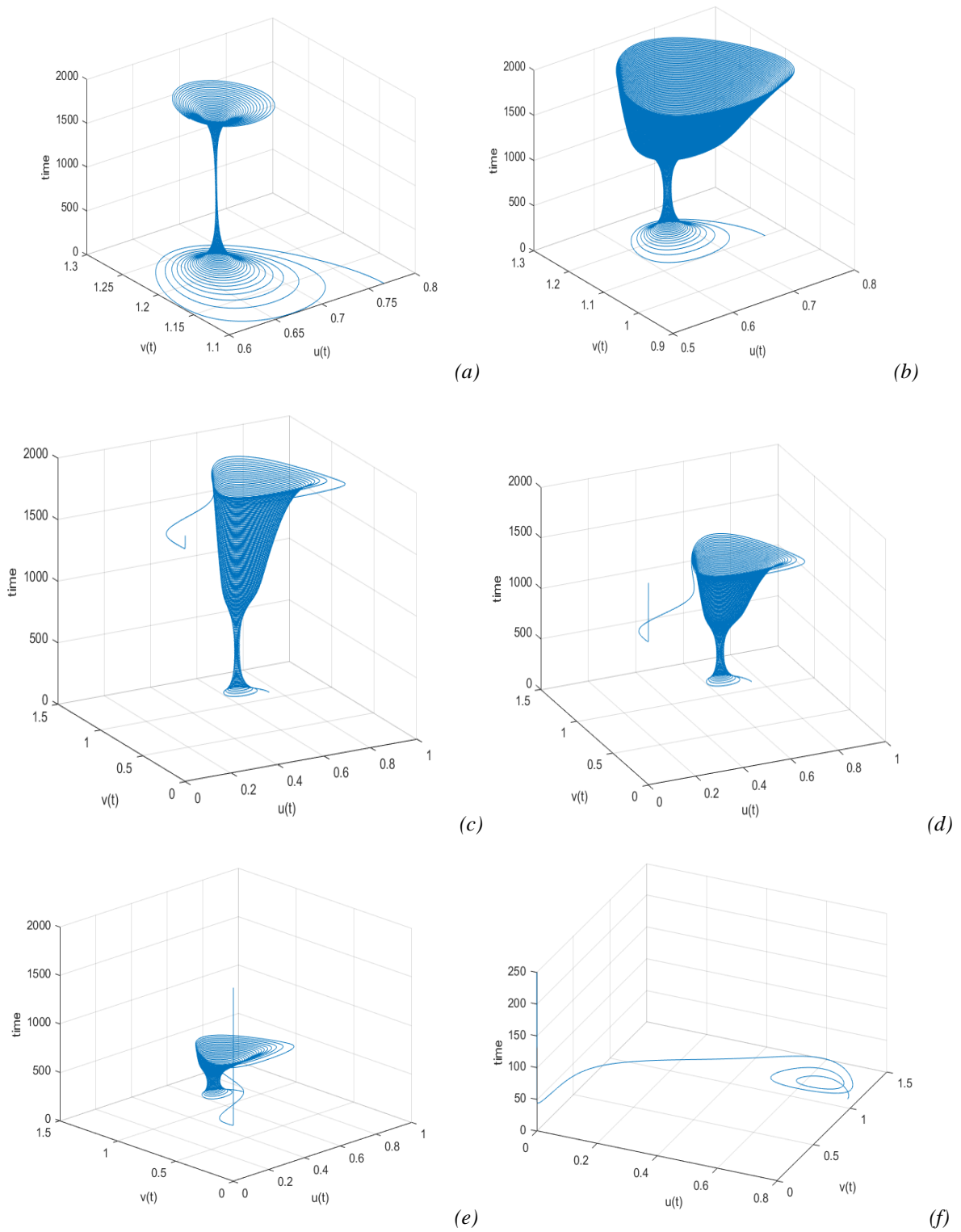


Figure 4. Phase plane structure for prey and predator for fixed values of delta in time $\delta_i = 0.5$ a) $\omega = 1 \times 10^{-6}$, b) $\omega = 2 \times 10^{-6}$, c) $\omega = 3 \times 10^{-6}$, d) $\omega = 4 \times 10^{-6}$ e) $\omega = 1 \times 10^{-4}$ and f) $\omega = 4 \times 10^{-4}$ for $t = 2000$. The initial values of the system are obtained from Eqs.7-8 for given system parameters defined in Section II.

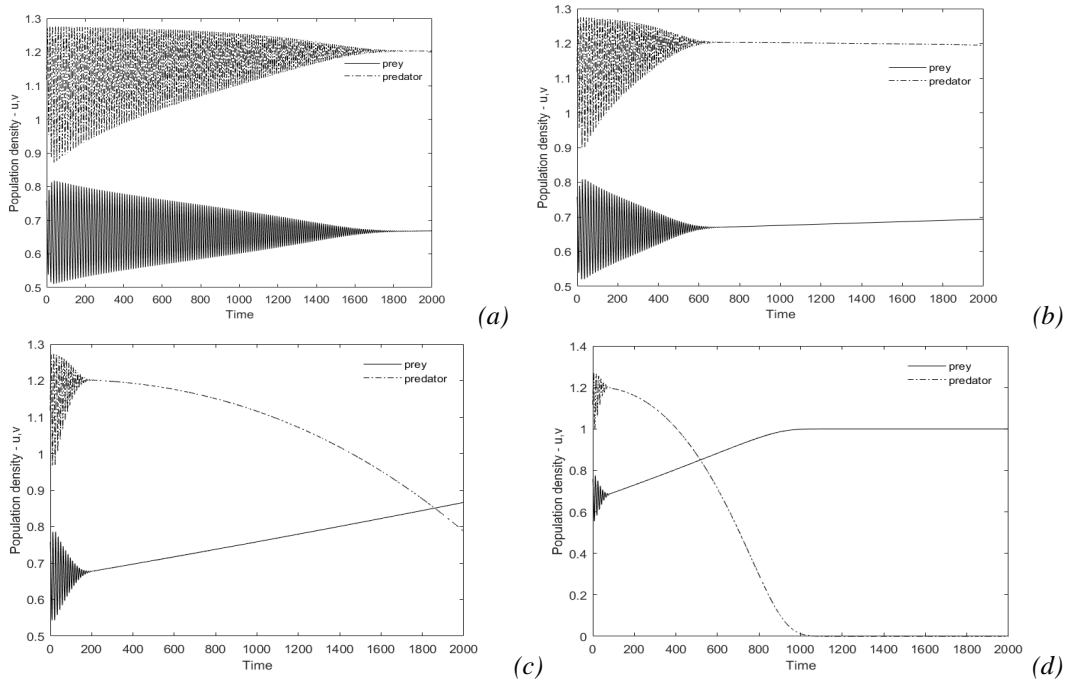


Figure 5. Snapshots of the prey (solid line) and predator (dashed-dotted line) versus time obtained for $\delta_t = 0.495$ a) $\omega = 3 \times 10^{-6}$, b) $\omega = 1 \times 10^{-5}$, c) $\omega = 55 \times 10^{-6}$ and d) $\omega = 2 \times 10^{-4}$. The initial values of the system are obtained from Eqs.7-8 for given system parameters defined in Section II.

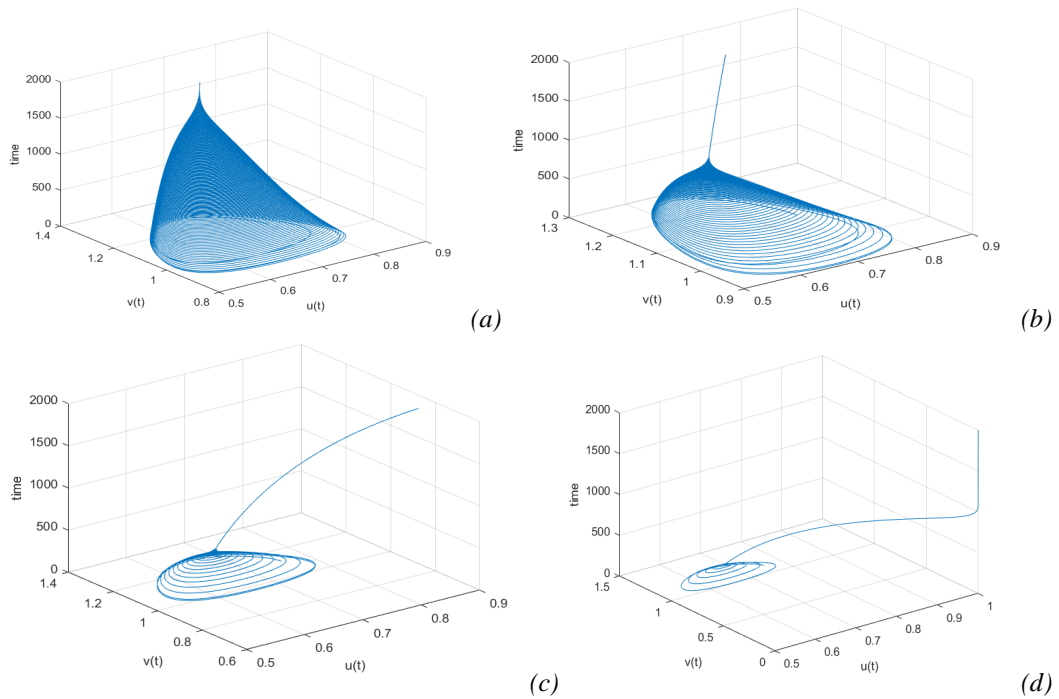


Figure 6. Phase plane structure for prey and predator for fixed values of delta in time $\delta_t = 0.495$ a) $\omega = 3 \times 10^{-6}$, b) $\omega = 1 \times 10^{-5}$, c) $\omega = 55 \times 10^{-6}$ and d) $\omega = 2 \times 10^{-4}$ for $t = 2000$. The initial values of the system are obtained from Eqs.7-8 for given system parameters defined in Section II.

IV. CONCLUDING REMARKS

In this work it is shown that using predator-prey system [24], the temporal dynamics can become stabilise under the effect of the temporal change in predator mortality rate. By means of numerical simulations, the structure of system temporal distribution is revealed for linearly decreasing or increasing values of δ in time. The temporal structure of the system gives important information when the predator mortality rate is closer to the extinction point. Here it is observed that the system has rich temporal dynamics depending on both Allee effect and the varying mortality rate of predator.

The obtained results show that species temporal variation and also the extinction of species can be interpreted with the slope in mortality rate of predator. If the mortality rate of predator is decreased, i.e., the case for $\delta = \delta_i - \omega(t - t_1)$, the population density of predator is increased. Hence the stress on prey population increase and the system pushes the prey to extinct. And that is which it is obtained in the numerical simulations. Accordingly, if the mortality rate of predator is increased, i.e., the case for $\delta = \delta_i + \omega(t - t_1)$, the population density of predator is decreased and it facilitates the growth of prey. This result is coincide the results obtained in the numerical simulations.

In conclusion, the most interesting question evokes here that whether increasing rate of predator mortality can prevent the prey extinction. This situation is examined in the case where δ is chosen as an increasing function in time and it is observed that the extinction of predator facilitates the growth of prey and it reaches its carrying capacity.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research has been supported by Amasya University Scientific Research Projects Coordination Unit. Project Number: FBM-BAP 17-0258.

REFERENCES

- [1] Allee, W. C. (1931). *Animal Aggregations, a Study in General Sociology*. University of Chicago Press, Chicago, IL
- [2] Allee, W. C., & Bowen, E. S. (1932). Studies in animal aggregations: mass protection against colloidal silver among goldfishes. *Journal of Experimental Zoology*, 61(2), 185-207.
- [3] Stephens, P. A., Sutherland, W. J., & Freckleton, R. P. (1999). What is the Allee effect? *Oikos*, 185-190.
- [4] Tsoularis, A., & Wallace, J. (2002). Analysis of logistic growth models. *Mathematical Biosciences*, 179(1), 21-55.
- [5] Blumberg, A. A. (1968). Logistic growth rate functions. *Journal of Theoretical Biology*, 21(1), 42-44.
- [6] Amarasekare, P. (1998). Allee effects in metapopulation dynamics. *The American Naturalist*, 152(2), 298-302.
- [7] Sekerci, Y. (2020). Climate change effects on fractional order prey-predator model. *Chaos, Solitons & Fractals*, 134, 109690.
- [8] Lewis, M. A., & Kareiva, P. (1993). Allee dynamics and the spread of invading organisms. *Theoretical Population Biology*, 43(2), 141-158.
- [9] Courchamp, F., Clutton-Brock, T., & Grenfell, B. (1999). Inverse density dependence and the Allee effect. *Trends in Ecology & Evolution*, 14(10), 405-410.
- [10] Odum, E. P. (1953). *Fundamentals of ecology*. xii, 387 pp. W. B. Saunders Co., Philadelphia, Pennsylvania, and London, England.

- [11] Courchamp, F., Berec, L., & Gascoigne, J. (2008). Allee effects in ecology and conservation. Oxford University Press.
- [12] Allee, W.C., Emerson, O., Park, T., & Schmidt, K. (1949). Principles of Animal Ecology. Saunders, Philadelphia.
- [13] Allee, W.C. (1951). Cooperation Among Animals. Henry Shuman, New York.
- [14] Allee, W.C. (1958). The Social Life of Animals. Beacon Press, Boston.
- [15] Ye, Y., Liu, H., Wei, Y. M., Ma, M., & Zhang, K. (2019). Dynamic study of a predator-prey model with weak Allee effect and delay. *Advances in Mathematical Physics*, 27(4), 943-953.
- [16] Wang, J., Shi, J., & Wei, J. (2011). Predator-prey system with strong Allee effect in prey. *Journal of Mathematical Biology*, 62(3), 291-331.
- [17] Banerjee, M., Mukherjee, N., & Volpert, V. (2018). Prey-predator model with a nonlocal bistable dynamics of prey. *Mathematics*, 6(3), 41.
- [18] Han, R., & Dai, B. (2019). Spatiotemporal pattern formation and selection induced by nonlinear cross-diffusion in a toxic-phytoplankton-zooplankton model with Allee effect. *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, 45, 822-853.
- [19] Morozov, A., S. Petrovskii, & Li, B.L. (2006). Spatiotemporal complexity of patchy invasion in a predator-prey system with the Allee effect, *Journal of Theoretical Biology*, 238(1), 18-35.
- [20] Petrovskii, S., Morozov, A. & Venturino, E. (2002) Allee effect makes possible patchy invasion in a predator-prey system, *Ecological Letters*, 5(3), 345-352.
- [21] Sun, G. Q. (2016). Mathematical modeling of population dynamics with Allee effect. *Nonlinear Dynamics*, 85(1), 1-12.
- [22] Yao, S. W., Ma, Z. P., & Cheng, Z. B. (2019). Pattern formation of a diffusive predator-prey model with strong Allee effect and nonconstant death rate. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 527, 121350.
- [23] Petrovskii, S., Morozov, A., & Li, B.L. (2005). Regimes of biological invasion in a predator-prey system with the Allee effect. *Bulletin of Mathematical Biology*. 67(3), 637-661.
- [24] Murray, J.D. (1989). Mathematical Biology. Springer, Berlin.
- [25] Nisbet, R.M., & Gurney, W.S.C. (1982). Modelling Fluctuating Populations. Wiley, Chichester.
- [26] Sherratt, J.A. (2001). Periodic travelling waves in cyclic predator-prey systems. *Ecological Letters*, 4, 30-37.

Araştırma Makalesi - Research Article

Türkiye’deki Enerji Dağıtım Şirketlerinin Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi

Ezgi Güler^{1*}, Süheyla Yerel Kandemir², Emin Açikkalp³

Geliş / Received: 03/02/2020

Revize / Revised: 10/04/2020

Kabul / Accepted: 20/04/2020

ÖZ

Enerji, küresel rekabet dünyasında ülkelerin güçlerinin ve gelişmişliklerinin önemli bir göstergesidir. Gelişmekte olan ülkelerde ekonomik gelişme düzeyi ile elektrik tüketimleri arasında bir nedensellik ilişkisi bulunmaktadır. Ülkeler, yaşam kalitesini gözeterek elektriğin etkin üretimini ve dağıtımını sağladıkları takdirde ekonomik gelişme sağlayacaklardır. Türkiye’de iletim ve dağıtım şebekelerinde yüksek kayıp oranları oluşabilmektedir. Bu durum enerji dağıtım şirketleri açısından iyileştirme noktası olarak görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’deki enerji dağıtım şirketlerinin elektrik dağıtımı için etkinlik değerlerinin görelî hesaplamasını yapmaktır. Çalışmada 2019 yılında Türkiye’de faaliyet gösteren 21 adet enerji dağıtım şirketinin mevcut dağıtım etkinliklerinin karşılaştırılması Veri Zarflama Analizi(VZA) ile yapılmıştır. Uygulamada VZA modellerinden ve Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından geliştirilen CCR Modeli (girdi ve çıktı odaklı CCR Modeli) ile Banker, Charnes ve Cooper tarafından geliştirilen BCC modeli (girdi ve çıktı odaklı BCC) olmak üzere toplamda 4 model seçilmiştir. Sonuç olarak modellerin çözümünde EMS Version 1.3 paket programı ile 21 adet enerji dağıtım şirketine ait etkinlik değerleri ölçülmüş ve EMS Version 1.3 programına Süper Etkinlik Modeli’nin dahil edilmesi ile şirketlerin görelî etkinlik sıralaması elde edilmiştir. Bu çalışmanın, elektrik enerjisinin etkin şekilde dağıtımını konusunda, ölçüğe göre getiri ve girdi/çıkıtı yönelimi gibi farklı noktalardan bakış açısı sağlayacağı için iyileştirme hedeflerinin belirlenmesinde karar vericilere fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler- Enerji Dağıtım, Görelî Etkinlik Ölçümü, Veri Zarflama Analizi

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ezgigulerr@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-8789-8244>)

Endüstri Mühendisliği, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik/Türkiye

²İletişim: syerel@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-4056-5383>)

Endüstri Mühendisliği, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik/Türkiye

³İletişim: emin.acikkalp@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5356-1467>)

Makine Mühendisliği, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik/Türkiye

Evaluation of the Efficiencies of the Energy Distribution Companies in Turkey with DEA

ABSTRACT

Energy is an important indicator of the powers and developments of countries in the world of global competition. There is a causal relationship between the level of economic development and electricity consumption in developing countries. Countries will achieve economic development if they ensure efficient production and distribution of electricity by considering the quality of life. High loss rates may occur in transmission and distribution networks in Turkey. This situation is seen as a point of improvement for energy distribution companies. The purpose of this study, the relative value of the activities of the energy distribution companies for electricity distribution in Turkey is to make the calculation. In the study comparing the effectiveness of existing 21 distribution companies operating in Turkey in 2019 it was carried out with DEA. In total, 4 models were selected as the CCR Model (Input and Output Oriented CCR Models) developed by Charnes, Cooper and Rhodes and the BCC Model (Input and Output Oriented BCC Models) developed by Charnes, Cooper and Rhodes. As a result, the efficiency values of 21 distribution companies were measured in the solution of the models with the EMS Version 1.3 package program and the relative efficiency ranking of the companies was obtained by including the Super Efficiency Model in the models in the EMS Version 1.3 program. This study will benefit decision makers in determining improvement goals, as it will provide perspective on effective distribution of electrical energy from different points such as scale-based returns and input / output orientation.

Keywords- *Electricity Distribution, Relative Efficiency Measurement, Data Envelopment Analysis*

I. GİRİŞ

İnsan yaşamında vazgeçilmez bir kaynak olan enerji, küreselleşen dünyada devletlerin gelişmişliklerinin önemli bir işareti olarak düşünülmektedir. Enerjinin en önemli bileşenlerden biri ikincil enerji kaynaklarından olan elektriktir. Elektriğe olan talep teknolojinin kullanımıyla gün geçtikçe artmaktadır [1].

Elektrik dağıtım faaliyeti; elektrik enerjisinin kurulu iletim hatlarından ya da dağıtım bölgesindeki üretim santrallerinden abonelere dağıtımıdır. Türkiye’de enerji dağıtım faaliyetleri Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) ve özel sektör dağıtım şirketleri tarafından lisanslarında tanımlanmış olan bölgelerde yürütülmektedir. TEDAŞ tarafından 21 farklı bölgeye ayrılarak özelleştirilen Türkiye elektrik dağıtım altyapısı günümüzde tamamen özel sektör tarafından işletilmektedir [2]. Mevcut dağıtım şirketleri dağıtım bölgelerine göre perakende satış lisansı alıp perakende satış hizmeti verebilmektedir [3].

Enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve artan enerji kullanımının zararlarından dolayı enerjinin etkin üretimi iletimi ve dağıtımını konuları önemli hale gelmiştir. Bu anlamda enerji dağıtım faaliyetlerinde rasyonel politikalar üretmek gerekmektedir. Enerji konusunda 1970’lerde ortaya çıkan bu bilinç, enerji dağıtım alanında birçok tekniğin geliştirilmesini ve pratikte uygulanmasını sağlamıştır [4]. Performans değerlendirme modellerinde ekonometrik teknikler, optimizasyon teknikleri ve karar analizi teknikleri gibi birçok matematiksel teknik kullanılmıştır. Performans değerlendirmesi ile ilgili planlama teknikleri elektrik enerjisi üretimi iletimi ve dağıtım çalışmalarında geniş yer tutmaktadır. Bu alanda kullanılan teknikler arasında, parametrik olmayan etkinlik ölçme araçlarından VZA performans değerlendirmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Charnes, Cooper ve Rhodes (1978) tarafından ortaya atılan VZA’nin ekonomi, yönetim bilimi ve yöneylem araştırması gibi birçok alanda kullanılmıştır. Enerji sektöründe meydana gelen tekelleşme dışı özelleştirme faaliyetleri ile birlikte özellikle elektrik enerjisi için performans değerlendirme konusunda VZA görece bir kıyaslama tekniği olarak kullanılmaktadır [5].

Literatürde enerji dağıtım birimleri için görece etkinliğinin belirlenmesi konusunda birçok çalışma bulunmaktadır. VZA ile yapılan ilk çalışma Weyman-Jones (1991) tarafından İngiltere’deki elektrik dağıtım sektöründe yer alan birimlerin etkinliğini ölçen çalışmadır. Bu çalışmada elektrik dağıtım birimlerinin etkinliği önemli ülkeler için VZA ile değerlendirilmiştir [6].

Sadjadi S.J. ve Omrani H. (2008) çalışmalarında elektrik dağıtım şirketlerinin performans değerlendirmesi için belirsiz veriler içeren VZA modeli sunmuşlardır. Çalışmada önerilen yöntem ile çıktı parametreleri üzerindeki belirsizliği dikkate alınarak yeni bir DEA yöntemi geliştirilmiştir [7].

Bağdadıoğlu (2009) elektrik dağıtım sektöründe hizmet kalitesinin görece etkinlik ölçümü için VZA kullanarak yaptığı çalışmada 21 elektrik dağıtım şirketi arasından 8 tanesinin kötü hizmet verdiği yani etkin olarak çalışmadığı sonucuna ulaşmıştır [8].

Ulucan ve Atıcı (2010) çalışmalarında Türk elektrik sanayisinde yer alan 20 adet dağıtım şirketinin etkinlik ölçümünü VZA modelleri ile değerlendirmişlerdir. Uygulamada enerji dağıtım bakımından etkinlik sınırında olan dağıtım şirketleri dışında, etkinlik sınırda yer almayan şirketlerin etkin olmaları için gerekli olan hedef değerlerini iki farklı yaklaşımla belirlemişlerdir. Kullandıkları yaklaşımlar Standart VZA ve Ölçüt Odaklı VZA’dır [4].

Santos vd. (2011) çalışmalarında VZA’ni performans değerlendirme aracı olarak kullanmak için Portekiz’deki elektrik dağıtım şirketlerinin 2002’den itibaren 4 yıllık maliyet performans etkinliği ölçümünde kullanmışlardır. Dönemsel ve dinamik değişkenlikleri değerlendirmek amacıyla Malmquist Endeksleri kullanılmıştır [9].

Azadeh vd. (2015) çalışmalarında elektrik dağıtım birimlerinin performans değerlendirmesi için stokastik VZA’ya dayalı bir model önermişlerdir. 2001 yılından 2011 yılına kadar İran’daki dağıtım birimlerinin değerlendirilmesi için sunulan yeni yaklaşımda şebeke uzunluğu, taşıma kapasitesi ve çalışan sayısı girdi, müşteri sayısı ve toplam elektrik satışı stokastik çıktılar olarak seçilmiştir. Daha sonra stokastik ortamda verimlilik skorlarına göre en iyi elektrik dağıtım üniteleri belirlenmiştir [10].

Meher S. ve Sahu A. (2016) yaptıkları çalışmada bir Frontier aracı kullanarak VZA ile Hindistan'daki 17 eyaletin elektrik dağıtım hizmetlerinin görel verimliliklerini ölçmüşlerdir. Ölçeğe sürekli geri dönüş yapan model, farklı KVB'lerin görel verimliliklerini değerlendirmek için uygulanmıştır. 40 dağıtım biriminden 29'unda verimsizlik olduğu belirlenmiştir [11].

Çiçek C. Ve Lecuna H.K.S, (2019) yaptıkları çalışmada Türkiye'de il bazında elektrik tüketim değerlerinin görel etkinlikleri belirlemişlerdir. Etkin olmayan iller için gerekli potansiyel iyileştirme hedef değerleri oluşturulmuştur. Çalışmada 2018 yılı içerisinde tüm bölgelerin elektrik tüketim değerlerinin etkinlik karşılaştırması girdi odaklı CCR ve girdi odaklı BCC olmak üzere 2 VZA (Data Envelopment Analist – DEA) modeli kullanılarak yapılmıştır [12].

Bu çalışmada Türkiye'de faaliyet gösteren 21 adet elektrik dağıtım şirketinin 2019 yılı etkinlik ölçümleri VZA ile değerlendirilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan VZA modelleri ve modellerin metodolojisi hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde ise enerji dağıtım şirketleri için VZA uygulaması yapılmış ve son bölümde sonuçlar tartışılmıştır.

II. YÖNTEM VE METODOLOJİ

VZA, birden çok girdiyi birden çok çıktıya dönüştüren bir dizi durum ya da birimin performansını değerlendirmek için görel karşılaştırmaya imkan veren “veri odaklı” bir yaklaşımdır [13]. VZA, doğrusal programlama ilkelerine dayalı ve literatürde Karar Verme Birimi (KVB) olarak geçen, girdileri çıktılara dönüştüren, işletmelerin ya da ekonomik etkinliğe sahip birimlerin görel etkinliklerini ölçmek amacıyla tasarlanmış yöntem olarak tanımlanmaktadır [14].

VZA için geliştirilen ilk temel modeller sabit getiri varsayımına dayanan ve Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından geliştirilen CCR modelleridir. Bu modeller ilk dönemlerde yalnız kamu faaliyetlerinde yer alan birimlerin görel etkinliklerini ölçmek için kullanılmış sonrasında farklı alanlarda da kullanımı yaygınlaşmıştır. VZA için geliştirilen bir diğer model çeşidi Banker, Charnes ve Cooper tarafından ortaya atılan ve ölçeğe göre değişken getiriyi esas alan BCC modelleri olmuştur. Bu modeller CCR modellerine konvekslik kısıtının eklenmesi ile elde edilmişlerdir [15]. Charnes, Cooper ve Rhodes'in geliştirdiği CCR modeli hem teknik etkinlik hem de ölçek etkinliğini kapsarken, Banker, Charnes ve Cooper'in geliştirdiği BCC modeli ise sadece teknik etkinliği ölçmektedir[16]. VZA modellerinde de sınırlayıcı kısıtlar altında, amaç fonksiyonunun en büyüklenmesi ya da en küçüklenmesi problemi ile ilgilenir ve aşağıdaki sıralanan varsayımların geçerli olması istenir [15]. Temel VZA modelleri temelde 4 grupta incelenir. Literatürde kullanılan bu temel modeller; CCR modeli, BCC modeli, toplamsal model ve çarpımsal modellerdir. VZA modelleri ölçeğe göre getiri bakımından sabit ve değişken getiri varsayımlarına göre oluşturulmaktadır ve model süreçlerinde inceleme odağı girdi yönelimli, çıktı yönelimli ve de yönelimsiz olarak farklılaşabilmektedir [17]. VZA'da belirlenen problem için modellerin uygulanması KVB'lerin seçimi ile başlayıp girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi ile devam eder. Modeller seçilip uygulandıktan sonra görel etkinlik hesaplaması yapılır, etkin olan KVB'ler belirlenir ve etkin olmayan KVB'ler için potansiyel iyileştirmeler yapılır, sonuçlar değerlendirilir [18].

Uygulama için seçilen girdi odaklı CCR Modeli, çıktı odaklı CCR Modeli, girdi odaklı BCC Modeli ve çıktı odaklı BCC modeli kısaca özetlenmiştir.

Girdi Odaklı CCR Modeli: Girdi odaklı CCR modeli, çıktı seviyesini sabit tutarak mevcuttaki çıktı seviyesine ulaşmak için girdi miktarının ne kadar azaltılması gerektiğini araştıran VZA modelidir. Modele ait matematiksel modelin amaç fonksiyonu Eşitlik (1)'de ve kısıtlayıcı koşulları Eşitlik (2)'de verilmiştir [16].

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Enb } \sum_{r=1}^k u_{rk} Y_{rk} \quad k=1,2,..n \quad (1)$$

Kısıtlayıcı Koşullar:

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij} \leq 0; j=1,2,..,n \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^m v_{ik} X_{ik} = 1$$

$$u_{rk} \geq 0; r=1,2,\dots,s$$

$$v_{ik} \geq 0; i= 1,2,\dots,m$$

Enb = Enbüyükleme,

u_r = k. KVB tarafından r. çıktıya verilen ağırlık,

v_i = k. KVB tarafından i. girdiye verilen ağırlık,

Y_{rk} = k. KVB tarafından üretilen r. çıktı,

X_{ik} = k. KVB tarafından kullanılan i. girdi,

Y_{rj} = j. KVB tarafından üretilen r. çıktı,

X_{ij} = j. KVB tarafından kullanılan i. girdi,

n = KVB sayısı

Çıktı Odaklı CCR Modeli: Girdi seviyesini sabit tutarak en etkin şekilde bu girdi düzeyini elde etmek için, çıktı bileşiminin ne kadar artırılması gerektiğini araştıran modeldir. Çıktı odaklı CCR modelinin girdi odaklı modelden farkı, ağırlıklandırılmış girdinin ağırlıklandırılmış çıktıya oranının minimize edilmesidir [15]. Modele ait amaç fonksiyonu Eşitlik (3)'de ve kısıtlayıcı koşulları Eşitlik (4)'de verilmiştir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Enk } \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} \quad k=1,2,\dots,n \quad (3)$$

Kısıtlayıcı Koşullar:

$$\sum_{r=1}^m v_i X_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} \geq 0; j=1,2,\dots,n \quad (4)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} = 1$$

$$u_r \geq 0; r=1,2,\dots,s$$

$$v_i \geq 0; i= 1,2,\dots,m$$

Enk = Enküçükleme,

u_r = k. KVB tarafından r. çıktıya verilen ağırlık,

v_i = k. KVB tarafından i. girdiye verilen ağırlık,

Y_{rk} = k. KVB tarafından üretilen r. çıktı,

X_{ik} = k. KVB tarafından kullanılan i. girdi,

Y_{rj} = j. KVB tarafından üretilen r. çıktı,

X_{ij} = j. KVB tarafından kullanılan i. girdi,

n = KVB sayısı

Girdi Odaklı BCC Modeli: CCR ve BCC modelleri arasındaki literatürdeki çalışmalar da incelendiğinde görülen fark CCR modellerinin dualine konvekslik kısıtı da denilen ve etkinlik sınırının ölçeğe göre değişken getiri özelliği göstermesini sağlayan kısıtın eklenmiş olmasıdır [15]. Girdi odaklı BCC Modeline ait amaç fonksiyonu Eşitlik (5)'de, kısıtlayıcı koşulları Eşitlik (6)'da verilmiştir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Enb } \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} - u_k \quad (5)$$

Kısıtlayıcı Koşullar:

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij} - u_k \leq 0; j=1,2,\dots,n \quad (6)$$

$$\sum_{r=1}^m v_{ik} X_{ik} = 1$$

$$u_{rk} \geq 0; r=1,2,\dots,s$$

$$v_{ik} \geq 0; i= 1,2,\dots,m$$

$$u_k = \text{serbest}$$

Enb = Enbüyükleme,

$u_r = k$. KVB tarafından r . çıktıya verilen ağırlık,

$v_i = k$. KVB tarafından i . girdiye verilen ağırlık,

$Y_{rk} = k$. KVB tarafından üretilen r . çıktı,

$X_{ik} = k$. KVB tarafından kullanılan i . girdi,

$Y_{rj} = j$. KVB tarafından üretilen r . çıktı,

$X_{ij} = j$. KVB tarafından kullanılan i . girdi,

$n =$ KVB sayısı

Çıktı Odaklı BCC Modeli: Çıktı Odaklı BCC Modeline ait amaç fonksiyonu Eşitlik (7)'de, kısıtlayıcı koşulları Eşitlik (8)'deki gibidir [15].

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Enk } \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} - v_k \quad k=1,2,\dots,n \quad (7)$$

Kısıtlayıcı Koşullar:

$$\sum_{r=1}^m v_i X_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - v_k \geq 0; j=1,2,\dots,n \quad (8)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} = 1$$

$$u_r \geq 0; r=1,2,\dots,s$$

$$v_i \geq 0; i= 1,2,\dots,m$$

$$v_k = \text{serbest}$$

Enk = Enküçükleme,

$u_r = k$. KVB tarafından r. çıktıya verilen ağırlık,

$v_i = k$. KVB tarafından i. girdiye verilen ağırlık,

$Y_{rk} = k$. KVB tarafından üretilen r. çıktı,

$X_{ik} = k$. KVB tarafından kullanılan i. girdi,

$Y_{rj} = j$. KVB tarafından üretilen r. çıktı,

$X_{ij} = j$. KVB tarafından kullanılan i. girdi,

n = KVB sayısı

III. UYGULAMA

Elektrik enerjisi sektöründe enerji dağıtım konusu kaynakların etkin ve verimli kullanımını gerektiren önemli bir konudur. Bu kapsamda yapılan çalışmada Türkiye’de elektrik dağıtımında faaliyet gösteren 21 adet enerji dağıtım şirketinin etkinliklerinin karşılaştırılması ve farklı modeller açısından bir değerlendirilmesi yapılmıştır. Enerji dağıtım şirketleri Tablo 2’de KVB olarak verilmiştir. Değerlendirme adımları aşağıdaki gibidir.

A. KVB’lerin Seçimi

KVB benzer özelliklere sahip girdiler ile benzer çıktıları elde edecek birimleri ifade etmektedir [19]. KVB’lerin söz konusu benzerliği, analizle ulaşılabilecek sonuçların doğru ve tutarlı olması bakımından önem arz etmektedir [20]. Bu bağlamda çalışmada Türkiye’de faaliyet gösteren ve benzer faaliyetler gösteren 21 adet enerji dağıtım şirketi KVB olarak belirlenmiştir.

B. Girdi ve Çıktı Değişkenlerinin Belirlenmesi

VZA ile yapılan etkinlik ölçümünün, anlamlılığı ve sistemdeki KVB’lerin durumunu yansıtabilmesi için analizdeki girdi ve çıktı değişkenlerinin sistemi en iyi şekilde tanımlaması gerekmektedir [21]. Çalışmada enerji dağıtım şirketlerinin etkinlik ölçümü için belirlenen girdi ve çıktı değişkenleri Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1. Girdi ve Çıktı Değişkenleri

Girdi Değişkenleri
Kayıp Kaçak Oranı(%)
Etki Alanı(Km)
Maksimum Talep (Kişi)
Çıktı Değişkenleri
Abone Sayısı(Kişi)
Elektrik Tüketim Miktarı(kWh)

Girdi değişkenlerinden “Kayıp Kaçak Oranı” birimi yüzdelik(%) olarak verilmiştir. “Etki Alanı” enerji dağıtım şirketlerinin dağıtım bölgelerinin km cinsinden alanıdır. Enerji dağıtım şirketlerinin hizmet verdiği kişi sayısı “Maksimum Talep” olarak seçilen nüfustur. Çıktı değişkenlerinden “Abone Sayısı” enerji dağıtım şirketlerine resmi olarak kaydı bulunan kişi sayısını belirtmektedir. “Elektrik Tüketim Miktarı” kWh cinsinden birim enerji kullanım miktarıdır.

C. VZA Modellerinin Uygulanması

Bu çalışmada enerji dağıtım şirketlerinin teknik, toplam ve ölçek etkinliklerini belirlemek amacıyla CCR ve BCC modelleri kullanılmıştır. Elektrik enerjisi dağıtımında girdi değişkenlerini minimize ederek ve çıktı değişkenlerini sabit tutarak enerji dağıtım şirketlerinin göreceli etkinliklerini belirlemek amaçlandığında girdi odaklı modeller önerilmektedir. Ancak çalışma kapsamında girdilerin sabitliğinin modellenmesi istendiğinde çıktı odaklı modelleri kullanmak da faydalı olacaktır. Bunun yanı sıra CCR ve BCC modelleri ile yapılan anali sonuçlarında farklılıklar olası görülmektedir. VZA'da kurulan modellerin çözümü için amaca uygun olarak çeşitli paket programlar geliştirilmiştir [22]. Bu çalışmada, EMS Version 1.3 paket programı kullanılmıştır [23]. Enerji dağıtım şirketlerinin etkinlik sıralamalarına ulaşabilmek için söz konusu EMS Version 1.3 paket programına Süper Etkinlik Modeli de dahil edilmiştir. Türkiye'de elektrik dağıtımında faaliyet gösteren enerji dağıtım şirketlerinin 2019 yılı girdi ve çıktı değişkenlerine yönelik veriler Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün (EİGM) kurumsal internet sitesi aracılığı ile elde edilmiştir. Seçilen modellerde KVB olarak belirlenen enerji dağıtım şirketlerine ait girdi ve çıktı değişkenleri Tablo 2'de bulunmaktadır.

Tablo 2. Enerji Dağıtım Şirketlerine Ait Girdi ve Çıktı Değişkenleri

No	Enerji Dağıtım Şirketleri (KVB)	Girdi Değişkenleri			Çıktı Değişkenleri	
		Kayıp Kaçak Oranı(%)	Etki Alanı(Km)	Maksimum Talep(Kişi)	Abone Sayısı(Kişi)	Tüketim Miktarı(kWh)
1	Trakya	5.26	18762	1570000	928481	6262555238
2	Boğaziçi	9.89	3573	5401312	4326314	23910432042
3	Ayedaş	7.59	1945	4700000	2464528	7778316370
4	Sakarya	6.64	19421	3000000	1501482	8547986835
5	Başkent	7.9	60117	6700000	3560935	10925811803
6	Yeşilırmak	10.46	40633	3284772	1766936	4745850934
7	Çoruh	9.43	29211	2242881	1165273	2517862228
8	Aras	39.64	71007	2000000	841695	1982753410
9	Uludağ	7.03	35964	3835055	2728207	7920876798
10	Osmangazi	7.86	49787	2691967	1515817	5872423764
11	Çamlıbel	7.56	52789	2266037	857697	2284310794
12	Fırat	9.55	37441	1700000	796571	3292407558
13	Vangözü	65.84	47368	1500000	515349	3935413183
14	Gediz	9.74	25822	4631035	2591670	13869575658
15	Meram	8.08	76506	3742694	1741499	6679538234
16	Kcetaş	6.85	16912	1060432	593670	2113721232
17	Aydem	7.61	32726	2516114	1668752	7486869689
18	Akdeniz	11.32	36486	2490235	1670971	6936120128
19	Toroslar	15.24	46858	7700000	3004748	11719263395
20	Akedaş	6.7	22217	1626195	564540	3596747810
21	Dicle	73.93	61198	4584835	1389628	19248046813

IV. BULGULAR

EMS Version 1.3 paket programı yardımıyla girdi odaklı CCR, çıktı odaklı CCR, girdi odaklı BCC ve çıktı odaklı BCC modellerinin çözümü ile ulaşılan etkinlik değerleri Tablo 3 ve Tablo 4'de verilmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4'de verilen sonuçlar ile etkin olmayan enerji dağıtım şirketlerinin dağıtım noktalarında ideal hizmeti veremediği ve ancak hesaplanan etkinlik değerleri oranında etkin hizmet verdiği anlaşılmaktadır. Girdiye ve çıktı odaklı modellerde etkinlik değerleri farklı model denklemleri ile hesaplanacağından girdi odaklı modellerde etkin olmayan KVB'lerin etkinlik değerleri %100'den küçükken, çıktı odaklı modellerde bu oranlar %100'den büyük olmaktadır.

Tablo 3. CCR Modelleri için Enerji Dağıtım Şirketlerinin Etkinlik Değerleri ve Etkinlik Durumları

t	Enerji Dağıtım Şirketleri(KVB)	Girdi Odaklı CCR Modeli		Çıktı Odaklı CCR Modeli	
		Etkinlik Değeri	Etkinlik Durumu [Etkin=+] [Etkin Değil=-]	Etkinlik Değeri	Etkinlik Durumu [Etkin=+] [Etkin Değil=-]
1	Trakya	%90.11	-	%110.98	-
2	Boğaziçi	%100.00	+	%100.00	+
3	Ayedaş	%100.00	+	%100.00	+
4	Sakarya	%64.37	-	%155.36	-
5	Başkent	%100.00	+	%100.00	+
6	Yeşilirmak	%67.16	-	%148.90	-
7	Çoruh	%64.86	-	%154.17	-
8	Aras	%52.54	-	%190.32	-
9	Uludağ	%88.82	-	%112.59	-
10	Osmangazi	%70.30	-	%142.25	-
11	Çamlıbel	%47.26	-	%211.62	-
12	Fırat	%58.50	-	%170.94	-
13	Vangölü	%59.27	-	%168.73	-
14	Gediz	%69.87	-	%143.13	-
15	Meram	%58.09	-	%172.14	-
16	Kcetaş	%69.89	-	%143.07	-
17	Aydem	%82.80	-	%120.77	-
18	Akdeniz	%83.77	-	%119.37	-
19	Toroslar	%48.72	-	%205.26	-
20	Akedaş	%49.96	-	%200.15	-
21	Dicle	%94.84	-	%105.44	-

Ölçeğe göre getirinin değişken varsayılması durumunda kurulan BCC modellerinin girdiye ve çıktı odaklı olarak hesaplanan etkinlik değerleri ve etkinlik durumları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. BCC Modelleri için Enerji Dağıtım Şirketlerinin Etkinlik Değerleri ve Etkinlik Durumları

No	Enerji Dağıtım Şirketleri(KVB)	Girdi Odaklı BCC Modeli		Çıktı Odaklı BCC Modeli	
		Etkinlik Değeri	Etkinlik Durumu [Etkin=+] [Etkin Değil=-]	Etkinlik Değeri	Etkinlik Durumu [Etkin=+] [Etkin Değil=-]
1	Trakya	%100.00	+	%100.00	+
2	Boğaziçi	%100.00	+	%100.00	+
3	Ayedaş	%100.00	+	%100.00	+
4	Sakarya	%90.41	-	%131.62	-
5	Başkent	%100.00	+	%100.00	+
6	Yeşilirmak	%73.96	-	%141.85	-
7	Çoruh	%77.06	-	%138.20	-
8	Aras	%67.44	-	%166.52	-
9	Uludağ	%100.00	+	%100.00	+
10	Osmangazi	%82.00	-	%131.25	-
11	Çamlıbel	%69.58	-	%189.25	-
12	Fırat	%76.26	-	%143.57	-
13	Vangözü	%85.61	-	%144.65	-
14	Gediz	%76.29	-	%141.37	-
15	Meram	%74.99	-	%164.55	-
16	Kcetaş	%100.00	+	%100.00	+
17	Aydem	%93.42	-	%109.76	-
18	Akdeniz	%92.89	-	%109.11	-
19	Toroslar	%51.72	-	%143.98	-
20	Akedaş	%86.28	-	%175.64	-
21	Dicle	%95.73	-	%104.68	-

CCR ve BCC modellerine ilişkin sonuçlar Tablo 5’de özetlenmiştir.

Tablo 5. VZA Modellerine İlişkin Özet Tablo

	CCR Modeli		BCC Modeli	
	Girdi Odaklı	Çıktı Odaklı	Girdi Odaklı	Çıktı Odaklı
Enerji Dağıtım Şirketi(KVB) Sayısı	21	21	21	21
Etkin Birim Sayısı	3	3	6	6
Etkin Olmayan Birim Sayısı	18	18	15	15
En Düşük Etkinlik(%)	%47.26	%211.62	%51.72	%189.25
En Yüksek Etkinlik(%)	%100	%100	%100	%100
Ortalama Etkinlik(%)	%72.43	%146.44	%85.41	%130.29
Etkin Dağıtım Şirketleri	Boğaziçi, Ayedaş, Başkent	Boğaziçi, Ayedaş, Başkent	Trakya, Boğaziçi, Ayedaş, Başkent Uludağ, Kcetaş	Trakya, Boğaziçi, Ayedaş, Başkent Uludağ, Kcetaş
n Düşük Etkinliğe Sahip Dağıtım Şirketi	Çamlıbel	Çamlıbel	Toroslar	Çamlıbel

EMS Version 1.3 Paket programında Super Efficiency (Süper Etkinlik) modelleri ile etkin birimlerin ve etkin olmayan birimlerin sıralaması yapılmaktadır. Tüm modellere ilişkin enerji dağıtım şirketlerinin sıralaması Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Enerji Dağıtım Şirketlerinin Etkinlik Sıralaması

No	Enerji Dağıtım Şirketleri(KVB)	CCR Modeli		BCC Modeli	
		Girdi Odaklı Sıralama	Çıktı Odaklı Sıralama	Girdi Odaklı Sıralama	Çıktı Odaklı Sıralama
1	Trakya	5	5	4	2
2	Boğaziçi	1	1	1	4
3	Ayedaş	2	2	2	1
4	Sakarya	14	14	10	11
5	Başkent	3	3	5	6
6	Yeşilırmak	12	12	18	14
7	Çoruh	13	13	14	12
8	Aras	18	18	20	19
9	Uludağ	6	6	6	5
10	Osmangazi	9	9	13	10
11	Çamlıbel	21	21	19	21
12	Fırat	16	16	16	15
13	Vangözü	15	15	12	17
14	Gediz	11	11	15	13
15	Meram	17	17	17	18
16	Kcetaş	10	10	3	3
17	Aydem	8	8	8	9
18	Akdeniz	7	7	9	8
19	Toroslar	20	20	21	16
20	Akedaş	19	19	11	20
21	Dicle	4	4	7	7

Sıralama sonuçları incelendiğinde CCR girdi ve çıktı odaklı modellerde enerji dağıtım şirketlerinin etkinlik sıralaması değişmemiştir. BCC girdi ve çıktı odaklı modellerde ise sıralamalar farklılık göstermektedir.

Türkiye’de faaliyet gösteren 21 enerji dağıtım şirketini kapsayan ve söz konusu dağıtım şirketlerinin Kayıp Kaçak Oranı, Etki alanı, Maksimum Talep, Abone Sayısı, Elektrik Tüketim Miktarı gibi girdi ve çıktı değişkenleri kullanılarak yapılan bu çalışmada dağıtım şirketlerinin görece etkinlik değerleri VZA modelleri ile belirlenmiştir. Girdi ve çıktı odaklı CCR modeli ile girdi ve çıktı odaklı BCC modeli kullanılarak EMS Version 1.3 paket programı ile görece etkinlik değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada karar vericilerin alacağı kararlara bağlı olarak hem girdi değişkenlerinin hem de çıktı değişkenlerinin sabit tutulduğu varsayımı ile meydana gelecek değişiklikler belirlenmeye çalışılmıştır. Süper Etkinlik modelleri de analizlere dahil edilerek incelenmiş ve her bir modele göre enerji dağıtım şirketleri arasındaki etkinlik sırası oluşturulmuştur. CCR modeli uygulamasında elde edilen sonuçlara göre Türkiye’de 21 enerji dağıtım şirketinden 3 tanesi etkinken 18 tanesi etkin değildir. En düşük etkinlik skoruna(%) sahip enerji dağıtım şirketi Tablo 5’de verildiği gibi hem girdi hem de çıktı odaklı modelde Çamlıbel dağıtım şirketi olmuştur. Ortalama etkinlik değeri girdi odaklı CCR modelinde 72,43 %, çıktı odaklı CCR modelinde ise 146,44% olarak belirlenmiştir. BCC modeli uygulamasında elde edilen sonuçlara göre Türkiye’de 21 enerji dağıtım şirketinden 6 tanesi etkinken 15 tanesi etkin değildir. En düşük etkinlik skoruna(%) sahip enerji dağıtım şirketi Tablo 5’de verildiği gibi girdi odaklı modelde Toroslar olurken çıktı odaklı modelde Çamlıbel dağıtım şirketi olmuştur. Ortalama etkinlik değeri girdi odaklı BCC modelinde 85,41%, çıktı odaklı BCC modelinde ise 130,29% olarak belirlenmiştir.

V. SONUÇ VE TARTIŞMA

Etkinlik ölçme ve performans değerlendirme tekniklerinden VZA kullanılarak yapılan bu çalışmada enerji dağıtım şirketlerinin etkinlik skorları belirlenmiş ve VZA modelleri arasındaki farklar sıralama

bakımından incelenmiştir. CCR ve BBC modellerinin girdi ve çıktı odaklı olarak uygulanması; bu iki model arasındaki farklılıkların hem ölçüğe göre getiri bakımından hem de girdi ve çıktıların sabitliğinin seçimi bakımından incelenmesine olanak vermiştir. CCR modelinde etkin çıkan enerji dağıtım şirketleri BCC modelinde de etkindir. Boğaziçi, Ayedaş ve Başkent gibi büyük kentlerde faaliyet gösteren enerji dağıtım şirketleri tüm modellerde etkindir. Çalışma sonuçlarında ağırlıklı olarak Doğu ve Güneydoğu bölgesinde faaliyet gösteren enerji dağıtım şirketlerinin etkinliğinin düşük olduğu görülmüştür. Bu durumun enerji dağıtım sektörü için bölgesel farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilmektedir. BCC modelinde etkin enerji dağıtım şirketi sayısı daha fazladır. CCR modelinde 3 adet enerji dağıtım şirketi etkin çıkarken BCC modelinde 6 adet enerji dağıtım şirketi etkindir. Bu durum, BCC modellerinin etkinlik bakımından daha iyimser özelliklere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu iyimser durum konvekslik kısıtının modele dahil edilmesinden kaynaklanmaktadır.

CCR girdi ve çıktı odaklı modellerde enerji dağıtım şirketlerinin etkinlik sıralaması aynıdır. Etkinlik değerleri de dikkate alındığında dağıtım fonksiyonu iyileştirme faaliyetlerine en az etkin olan Çamlıbel, Toroslar ve Akedaş enerji dağıtım şirketlerinden başlanabilir. Bu 3 dağıtım şirketi bölgesel dağılımlarına göre incelendiğinde üçünün de Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne yakın konumlarda faaliyet verdiği görülmektedir. Bu bölgelerde kayıp kaçak oranı kontrolü oldukça zor olabilmektedir. Örneğin Toroslar dağıtım şirketi, yüzölçümü büyük olan bir alana hizmet vermektedir. Ülkenin güney ve güneydoğusuna yakın bölgelerinde faaliyet gösteren dağıtım şirketleri için iyileştirme faaliyetleri denetim ve hizmet alanı açısından sıklaştırılmalıdır. VZA modellerinden hareketle etkin olmayan tüm enerji dağıtım şirketleri için girdi ve çıktı değişkenlerinin potansiyel iyileştirme değerleri belirlenebilir. İyileştirme yapılacak enerji dağıtım şirketlerinin öncelikleri belirlenebilir. CCR modelleri dikkate alındığında potansiyel iyileştirme için en fazla referans olan enerji dağıtım şirketi Boğaziçi olarak belirlenmiştir. Boğaziçi dağıtım şirketi Marmara Bölgesinde elektrik tüketiminin, sanayinin ve kentleşmenin en yoğun olduğu İstanbul ili için faaliyet göstermektedir. Boğaziçi dağıtım şirketinin etkinliği üzerinde uzmanların verimlilik çalışmalarını sıklıkla yapması ve girdi-çıkta değişken dengesinin sabit olması, Boğaziçi şirketinin diğer dağıtım şirketlerine referans olmasına imkan vermiştir. BCC girdi ve çıktı odaklı modellerde enerji dağıtım şirketlerinin etkinlik sıralaması farklı sonuçlar vermiştir. BCC girdi ve çıktı odaklı modeller dikkate alındığında ise elektrik dağıtım faaliyetinde enerji dağıtım şirketlerinin sayısı CCR modellere göre sayıca artış göstermiş ve Trakya, Uludağ ve Kcetaş enerji dağıtım şirketleri de etkin hale gelmiştir. Bu dağıtım şirketlerinin Marmara ve İç Anadolu bölgesinde yer alması ve özellikle sanayi alanlarının bulunduğu bölgelere hizmet vermeleri önem arz etmektedir. Bu bağlamda BCC modeli için dahil edilen konvekslik kısıtı değişkenler üzerinde ekonomik olarak incelenebilmektedir. Dağıtım etkinliğini artırma faaliyetleri için en az etkinlik değerine sahip Çamlıbel ve Toroslar dağıtım şirketlerinden öncelikli olabilir. BCC modeli dikkate alındığında potansiyel iyileştirme değeri Boğaziçi dağıtım şirketini baz alarak iyileştirmeler yapmak, elektrik dağıtımında verim artışına ve ekonomik katkıya yansıtacaktır. Dağıtım konusunda kayıp kaçak oranları ile ilgili gerekli önlemlerin alınması, ek sağlayıcıların tedarik edilmesi, nüfusa ve abone sayısına göre enerji dağıtım politikaları geliştirilmesi gibi yöntemlerle tüm iyileştirmeler konusunda önemli ve sonuç odaklı adımlar izlenebilir. Ayrıca, VZA etkin olmayan KVB'leri etkin olan referans KVB'lere benzeterek etkinliği sağlayacak projeksiyon değerlere ulaşma imkanı da vermektedir. Bu değerlerin formülasyonu, girdi odaklı ve çıktı odaklı modellerde farklı olmakla birlikte CCR ve BCC modelleri arasında da farklılık göstermektedir. VZA için kullanılan pek çok paket program projeksiyon iyileştirme değerlerini analiz edebilmektedir. Stratejistler analizin bu yönüyle hedef değerler belirleyebilmektedir. Bu yönüyle çalışma, elektrik dağıtım etkinliğinin artırılması bakımından gerekli faaliyetler için önemli bir kaynak olarak değerlendirilebilir. Enerji iletiminin ve son kullanıcılara dağıtımının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye'deki enerji dağıtım şirketleri üzerinde yapılan bu çalışma; karar vericilere konuyu farklı açılardan ele almak için farklı modeller sunmaktadır. Etkinlik incelemesi, enerji sektörü için enerji dağıtım faaliyetlerinde daha etkili yöntemlerin araştırılmasına ve izlenmesine imkan sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Koçak, İ., & Boran, K. (2019). Türkiye'deki İllerin Elektrik Tüketim Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 22(2), 351-365.
- [2] Enerji Atlası (2020).

<https://www.enerjiatlası.com/elektrik-dagitim-sirketleri/>

- [3] Düzgün, M. (2011). Veri Zarflama Analiziyle Elektrik Dağıtım Şirketlerinin Etkinlik Ve Verimlilik Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*. Ankara: Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı.
- [4] Ulucan, A., & Atıcı, K. (2010). Enerji ve Çevre Konularında Parametrik Olmayan Veri Analizi ve Türkiye Elektrik Sanayi Uygulaması. *H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 28(1), 173-203.
- [5] Jamasb, T., & Pollitt, M. (2001). Benchmarking and Regulation: International Electricity Experience. *Utilities Policy*, 9, 107-130.
- [6] Weyman Jones, T. (1991). Productive Efficiency in A Regulated Industry: The Area Electricity Boards of England and Wales. *Energy Economics*, 13, 116-122.
- [7] Sadjadi S.J., & Omrani H. (2008). Data Envelopment Analysis With Uncertain Data: An Application For Iranian Electricity Distribution Companies. *Energy Policy*, 36, 4247-4254.
- [8] Bağdadıoğlu, N. (2009). Türk Elektrik Dağıtım Sektöründe Hizmet Kalitesine Yönelik Özendirici Bir Düzenleme Uygulaması. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(1), 23-44.
- [9] Santos, S., Amado, C., & Rosado, J. (2011). Formative Evaluation of Electricity Distribution Utilities Using Data Envelopment Analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 62(7).
- [10] Azadeh, A., Nazari, T., & Charkhand, H. (2015). Optimisation of Facility Layout Design Problem with Safety and Environmental Factors by Stochastic DEA and Simulation Approach. *International Journal of Production Research*, 53(11).
- [11] Meher S., & Sahu A. (2016). Efficiency of electricity distribution utilitiesin India: a data envelopment analysis. *Energy Review*, 40(2), 155-179.
- [12] Çiçek C., & Lecuna H.K.S. (2019). Türkiye'deki Bölgelerin Elektrik Tüketim Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 2(2), 27-48.
- [13] Cooper, W., Seiford L.M., & Zhu J. (2004). *Handbook on Data Envelopment Analysis*, 1st ed. Springer, Boston 1-39.
- [14] Rouyendegh, B., & Erkan, T. (2010). Ankara'da Bulunan 4 Yıldızlı Otellerin VZA-AHS Sıralı Hibrit Yöntemiyle Etkinlik Değerlendirmesi. *Gazi Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 12(3), 69-90.
- [15] Erpolat, S. (2011). *Veri Zarflama Analizi Ağırlık Kısıtlamasız Ağırlık Kısıtlamalı Şans Kısıtlı Bulanık Türkiye'deki Özel Bütçeli Diğer İdarelerin Etkinlik Analizi*. İstanbul: Evrim Yayınevi.
- [16] Taşköprü, V. (2014). Klasik Veri Zarflama Analizi ile Kategorik Veri Zarflama Analizi Modellerinin Enerji Verimliliği Üzerinde Karşılaştırmalı İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [17] Charnes, V. (1994). Data Envelopment Analysis USA. *Kluwer Academic Publishers*, 65-66.
- [18] Bakırcı, F. (2006). Sektörel Bazda Bir Etkinlik Ölçüm: VZA İle Bir Analiz. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 20(2), 202-206.

- [19] Cooper, W., Seiford, L., & Tone, K. (2007). *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. Springer Science&Business Media.
- [20] Tarım, A. (2001). *Veri Zarflama Analizi Matematiksel Programlama Tabanlı Görelî Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı*. Ankara: Sayıştay Yayınları.
- [21] Güçlü, A. (1999). *Türk Silahlı Kuvvetleri Hastanelerinde Teknik Verimlilik Ölçümü: Veri Zarflama Analizi Uygulaması. Doktora Tezi*. Ankara: GATA Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- [22] Deliktaş, E. (2002). *Türkiye Özel Sektör İmalat Sanayinde Etkinlik ve Toplam Faktör Verimliliği Analizi. ODTÜ Gelişme Dergisi*, 247(29), 3-4.
- [23] EMS Version 1.3; <http://www.holger-scheel.de/ems/> (Erişim tarihi: 23 Ocak 2020)

Araştırma Makalesi - Research Article

Bir Konut İçin Isıtma Konseptinin Termodinamik Analizi

Adem Avşar^{1*}, Oğuz Arslan²

Geliş / Received: 19/03/2020

Kabul / Accepted: 06/04/2020

ÖZ

Bu çalışmada, örnek bir konut için ısıtma davranışı enerjistik ve ekserjistik açılarından değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, TS 825 (Binalarda ısı yalıtım kuralları) açısından bir örnek konut için ısı kayıpları ve kazanımları hesaplanmıştır. Bu bağlamda, ele alınan kontrol hacmi (örnek konut) için farklı parametreler dikkate alınarak enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre, en çok ısı gereksinimi ocak ayında iç ortam sıcaklığının 24°C kabul edilmesi durumunda 5500 kWh olarak, ekserji verimi ise %3 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler- Enerji, Ekserji, Isı kaybı, Konut

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ademavsr@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-8465-4081>)

Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

²İletişim: oguz.arslan@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-8233-831X>)

Makine Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilecik, Türkiye

Thermodynamic Analysis of the Heating Concept for a Residence

ABSTRACT

In this study, the thermal performance of a residence was evaluated in terms of energy and exergy. In this context, heat losses and gains were calculated for a sample residence taking the rules of TS 825 (thermal insulation rules in buildings) into account. Energy and exergy analysis were conducted for different parameters on the control volume (sample residence). In this regard, the maximum heat requirement during the heating period was calculated as approximately 5500 kWh in January for indoor temperature of 24°C and the highest exergy efficiency was calculated as 3%.

Keywords- *Energy, Exergy, Heat loss, Residence.*

I. GİRİŞ

Makale değerlendirme ve kabul süreci hakkında ayrıntılı bilgiye dergi web sitesi üzerinden ulaşılabilir. Binalar yüksek oranda bir enerji kullanıcılarıdır. Binalarda hem mahallerin ısıtılması için hem de sıcak su elde etmek için enerjiye ihtiyaç vardır. Binaların enerji ihtiyacını, yalıtımı artırarak veya bina kabuğunun hava sızıntısını azaltarak düşürmeye çalışılır. Binanın konumunu en iyi şekilde kullanmak ısıyla kazanımları arttırmak, enerji gereksinimini azaltacaktır. Buna bağlı olarak şehirlerin veya yapıların planlamaları yapılırken enerji kazançları ve kayıplarının değerlendirilmesi, binalarda kullanılacak enerji tüketiminin düşmesine sebep olacaktır.

Ekserji analizi yöntemi kullanılarak; bina ısıtma sistemlerinde daha yüksek verimler, fiyat, kaynak kullanımı, çevresel etki ve sürdürülebilirlik için yapılması gereken iyileştirmeler mümkün kılınabilir.

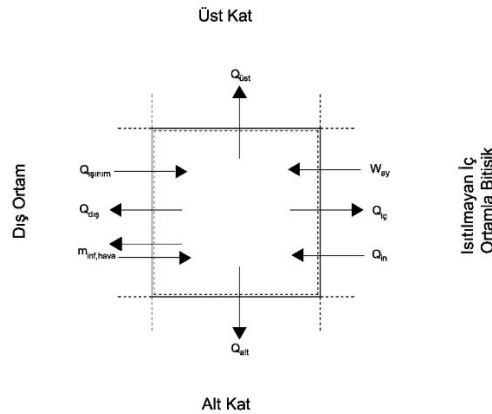
Düşük ekserji ihtiyaçları için uygun enerji kaynaklarının kullanımı konusundaki sistem tasarımlarına ek olarak, ekserji kayıplarını en aza indireyecek şekilde bina sistemi kontrol stratejilerinin belirlenmesi gereklidir. İyi bir yalıtım, bina kabuğundaki hava sızıntılarının önlenmesi, gün ışığından faydalanılması ve güneş enerjisinin pasif kullanımı önemli faktörlerdir.

Binaların ısıtma sistemlerinin geleneksel enerji analiziyle beraber ekserji analizinde kullanılarak incelenmesi konusunda birçok çalışma bulunmaktadır. Schmidt [1] yaptığı çalışmada, ısı kayıplarını elde etmek için enerji ve ekserji analizlerine dayanan hesaplamalar yapmıştır. Birden çok ailenin yaşadığı bir binada, bina kabuğu için iyileştirmeler sağlamıştır. Duvar ve pencerelerin ısı geçirgenlik katsayılarını değiştirerek odanın ekserji yükünü daha uygun bir değere indirmiştir. Shukuya [2] ise binaların daha iyi bir şekilde değerlendirilebilmesi için ekserji yaklaşımını anlatmıştır. Geleceğin binalarında ısıtma ve soğutma için düşük ekserjili sistemlerin uygun olacağını ifade etmiştir. Balta [3], bir düşük ekserjili ısıtma sisteminin enerji, ekserji, ekserji maliyet analizleri ile sürdürülebilirlik değerlendirmesini yapmıştır. 2366 m² alana sahip kapalı bir spor salonunun ele alındığı örnek çalışma ile kazan, yoğunmalı kazan ve hava kaynaklı ısı pompası kullanan üç farklı ısıtma sistemini araştırmıştır. Han ve arkadaşları [4], ekserji analizini bir binanın ısı yükü ve ilgili enerji akımlarını inceleyerek bina tasarımının iyileştirilme potansiyeli ve ekserji kayıplarının belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır. Çin’de farklı iklim bölgelerinde yer alan beş farklı bina incelenmiştir.

Bu çalışmada, konutu temsil etmek üzere ele alınan bir kontrol hacmi (KH) ele alınmış ve bina ısıtma prosesi kapsamında enerji ve ekserji analizi metotlarıyla termodinamik açıdan değerlendirilmiştir.

II. MATERYAL ve METOD

Bina ısıtma prosesinin termodinamik açıdan değerlendirilebilmesi için ele alınan KH Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Isıtma prosesi Kontrol Hacmi.

Şekil 1’de verilen KH hacmi taban alanı 330 m², pencere alanı 22.76m²,vehacmi 414 m³olan bir konutu temsil etmektedir. Ele alınan KH’de, üst ve alt katta ısıtma yapıлып yapılmamasına bağlı olarak gerçekleşen ısı kayıpları; dış duvar kabuğundan, tavan, taban ve ısıtılmayan iç ortamla bitişik duvar kabuğundan gerçekleşmektedir. Buna göre farklı iç ortam sıcaklıkları (T_i), faklı ısıtılmayan iç ortam sıcaklıkları (T_{i,iç}) alt ve üst katta ısıtma yapıлып yapılmaması durumları için parametreler oluşturulmuş ve bu parametreler ışığında farklı ısıtma sistemleri ve farklı yakıt kullanım durumları ele alınmıştır. Oluşturulan parametrelere bağlı örnek çalışma koşulları Tablo1’de verilmektedir.

Tablo 1: Yapı bileşenleri detayları.

Yapı bileşeni	Isı iletim katsayısı,(W/m K)
Dış duvar (Dış havaya açık)	0.395
Kolon Kiriş (Dış havaya açık)	0.499
İç duvar (ısıtılmayan ortama bitişik,20cm)	0.52
Dış pencere	1.3
Dış kapı	3.5
Ara kat Döşemesi(rabıta)	0.561
Çatı	0.369
Açık Geçit Taban(rabıta)	0.568
Açık Geçit Taban (toprak temaslı)	0.332

Şekil 1’de verilen KH’ne göre kütleli korunumu ifadesi;

$$\sum m_g = \sum m_{\zeta} \quad (1)$$

şeklindedir. Ele alınan KH için enerji dengesi ise;

$$\sum E_g - \sum E_{\zeta} = \Delta E_{sis} \quad (2)$$

şeklinde verilir. Bir ısıtma sezonu için bu ifade;

$$\sum E_g - \sum E_{\zeta} = 0 \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir; Şekil 1’de verilen bileşenler doğrultusunda enerji denklemi;

$$Q_{gerekli} = (Q_{ışınım} + Q_{cihaz} + Q_{insan} + Q_{inf,g}) - (Q_{duvar} + Q_{üst} + Q_{alt} + Q_{iç} + Q_{inf,\zeta}) \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada Q_{alt} ; tabandan kaybolan ısı, $Q_{üst}$; tavadan kaybolan ısı, $Q_{iç}$; ısıtılmayan iç ortamla bitişik duvardan kaybolan ısı, Q_{duvar} ; dış ortama bakan duvar kabuğundan kaybolan ısı, $Q_{inf,g}$; dış ortamdan iç ortama sızan havadan kaynaklanan ısı, $Q_{inf,\zeta}$; iç ortamdan dış ortama sızan havadan kaynaklanan ısı $Q_{ışınım}$; güneş ışınlarından kazanılan ısı, Q_{cihaz} ; cihazların enerji transferi ile kazanılan ısı, Q_{insan} ; insanların metabolik faaliyetlerinden kazanılan ısı enerjisi tanımlanmış olup aşağıdaki verildiği gibi tanımlanmıştır [5].

$$Q_{duvar} = A_{duvar} \cdot U_{duvar} \cdot \Delta t \quad (5)$$

$$Q_{üst} = A_{tavan} \cdot U_{tavan} \cdot \Delta t \quad (6)$$

$$Q_{alt} = A_{taban} \cdot U_{taban} \cdot \Delta t \quad (7)$$

$$Q_{iç} = A_{iç,duvar} \cdot U_{iç,duvar} \cdot \Delta t \quad (8)$$

$$Q_{ışınım} = \sum ri_{,ay} \cdot gi_{,ay} \cdot li_{,ay} \cdot A_i \quad (9)$$

$$Q_{inf,g} = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h \cdot T_i \quad (10)$$

$$Q_{inf,\zeta} = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h \cdot T_d \quad (11)$$

$$Q_{insan} = W_{insan} \quad (12)$$

$$Q_{aydınlama} = W_{aydınlama} \quad (13)$$

Buna göre gerekli yakıt miktarı;

$$m_{yakıt} = \frac{Q_{gerekli}}{\eta_{yakmasistemi} \cdot H_u} \quad (14)$$

ifadesi ile bulunur.

Ele alınan KH için ekserji dengesi ise;

$$Ex_g - Ex_\zeta - Ex_d = \Delta E_x \quad (15)$$

şeklinde verilir. Bir ısıtma periyodu için;

$$Ex_d = Ex_g - Ex_\zeta \quad (16)$$

şeklinde tekrar yazılabilir. Şekil 1’de verilen bileşenler doğrultusunda;

$$Ex_d = (Ex_{ışınım} + Ex_{cihaz}^w + Ex_{insan}^Q + Ex_{inf,g} + Ex_{yakıt}) - (Ex_{duvar}^Q + Ex_{üst}^Q + Ex_{alt}^Q + Ex_{iç}^Q + Ex_{inf,\zeta}) \quad (17)$$

eşitliği elde edilir. Burada;

$$Ex_{duvar}^Q = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot Q_{duvar} \quad (18)$$

$$Ex_{alt}^Q = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot Q_{alt} \quad (19)$$

$$Ex_{üst}^Q = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot Q_{üst} \quad (20)$$

$$Ex_{iç}^Q = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot Q_{iç} \quad (21)$$

$$Ex_{ışınım} = \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{T_0}{T}\right)^4 - \frac{4}{3} \cdot \frac{T_0}{T}\right) \cdot I_{ışınım} \quad (22)$$

$$Ex_{inf} = m_{inf} \left[c_p \cdot \left(T - T_0 - T_0 \cdot \ln \frac{T}{T_0}\right) \right] \quad (23)$$

$$Ex_{ciha}^w = W_{ci} \quad (24)$$

$$Ex_{insan}^Q = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \cdot Q_{insan} \quad (25)$$

olup, ekserji verimi;

$$\varepsilon = 1 - \frac{Ex_d}{Ex_g} \quad (26)$$

şeklinde verilir.

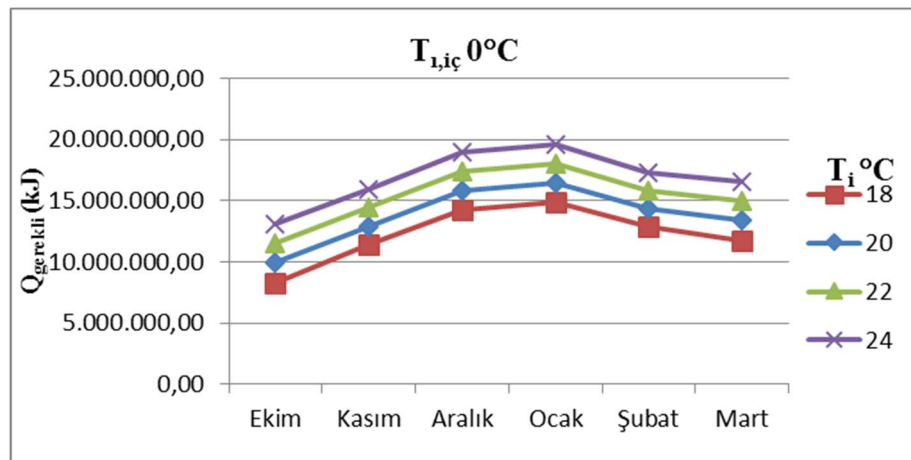
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Enerji ve ekserji analizi için gerekli parametreler Tablo 2’de verildiği şekliyle hesaplara dâhil edilmiştir.

Tablo 2. Hesap parametreleri [5,6]

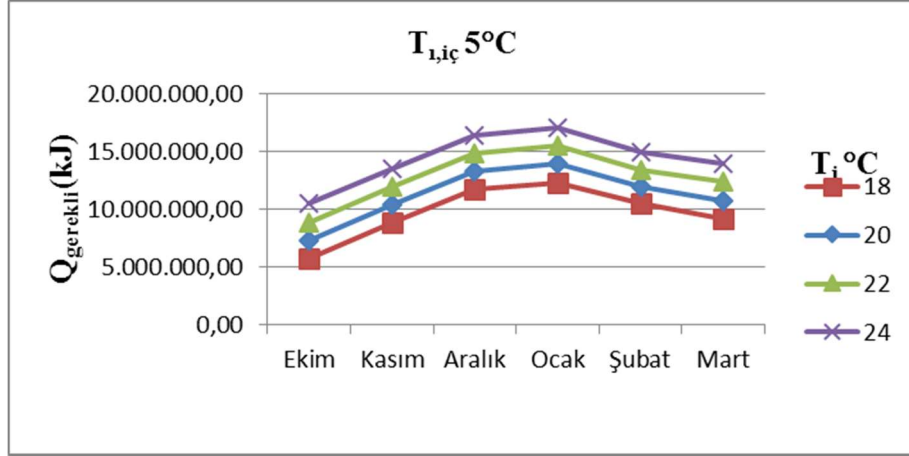
Semboller	Açıklama	Değerler
$r_{i,ay}$	Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü	0.6
g_i	Laboratuar şartlarında ölçülen ve yüzeyde dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü	0.75
T_i (°C)	İç ortam sıcaklığı için parametreler	18-24
$T_{iç}$	Isıtılmayan iç ortam sıcaklığı için parametreler	0-15
$T_d - Q_{ışınım}$	Ekim	14.1°C-700.03 W
	Kasım	8.5°C-495.72 W
	Aralık	3.8°C-435.22 W
	Ocak	2.9°C-505.39W
	Şubat	4.4°C-671.38 W
	Mart	7.3°C-881.83 W
$\eta_{yak.sis.,doğalgaz}$	Doğalgaz kazanı, yakma sisteminin verimi	0.885
$\eta_{yak.sis,kömür}$	Kömür kazanı, yakma sisteminin verimi	0.772
$\eta_{kömür,kazan}$	Kazan verimi	0.772
$\eta_{doğalgaz,kazan}$	Kazan verimi	0.885
$W_{aydınlatma}$	Cihazlardan gelen enerji KH için	102W
W_{insan}	İnsanlardan gelen enerji KH için	464W
n_h	Doğal havalandırma kat sayısı (TS825)	0.8
V_h	KH'nin hacmi	414 m ³

Enerji analizi sonuçlarına göre; gerekli ısı enerjisi değerlerinin değişimi, ısıtılmayan iç ortam, KH sıcaklık parametreleri ve aylara bağlı olarak Şekil 3-6’te verilmektedir.



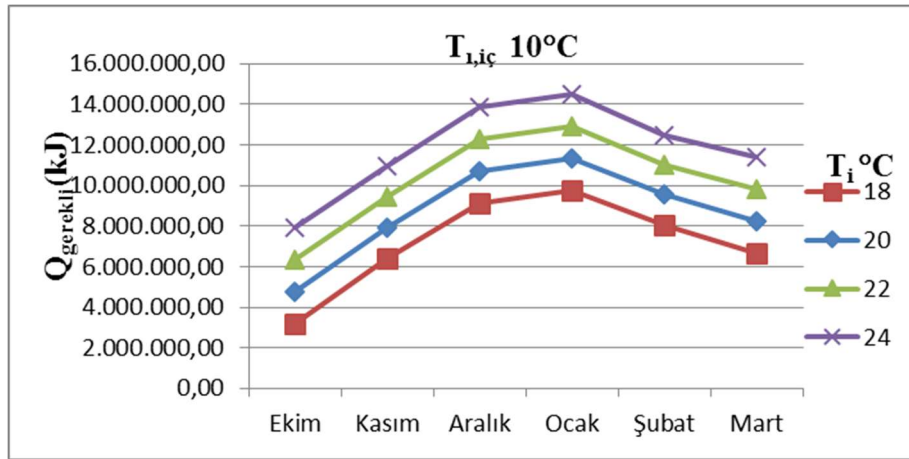
Şekil 3. Isıtılmayan ortam sıcaklığının 0°C durumunda ısı gereksinimlerinin değişimi.

Şekil 3 incelendiğinde, ısıtma ihtiyacı için gerekli ısı enerjisi değerleri 8311160.46 kJ -19633091.10 kJ arasında değişmektedir. İç ortam tasarım sıcaklığı arttığında beklenildiği gibi ısı gereksinimleri de artmaktadır. En yüksek ısı gereksinimi iç ortam sıcaklığının 24 °C olması durumunda Aralık-Ocak aylarında belirlenmiştir.



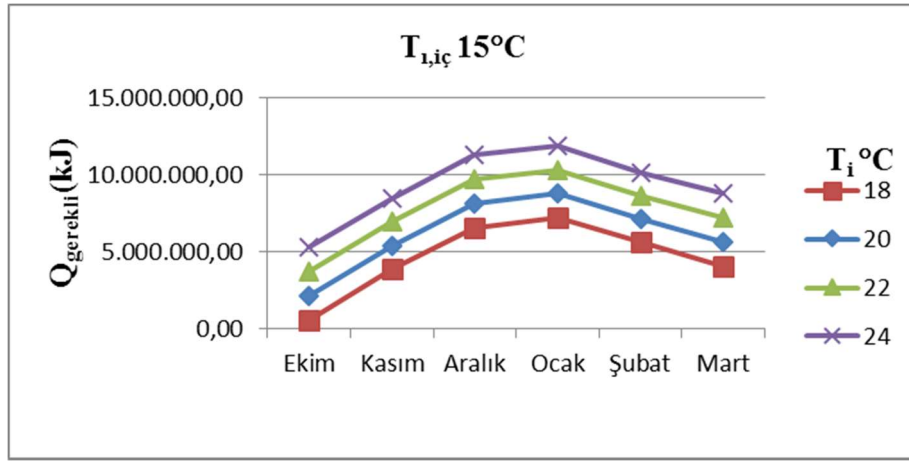
Şekil 4. Isıtılmayan ortam sıcaklığının 5°C durumunda ısı gereksinimlerinin değişimi.

Şekil 4. incelendiğinde, ısıtma ihtiyacı için gerekli ısı enerjisi değerleri 5739323.07 kJ – 17061253.71 kJ arasında değişmektedir. İç ortam tasarım sıcaklığı arttığında beklenildiği gibi ısı gereksinimleri de artmaktadır. En yüksek ısı gereksinimi iç ortam sıcaklığının 24 °C olması durumunda Aralık-Ocak aylarında belirlenmiştir.



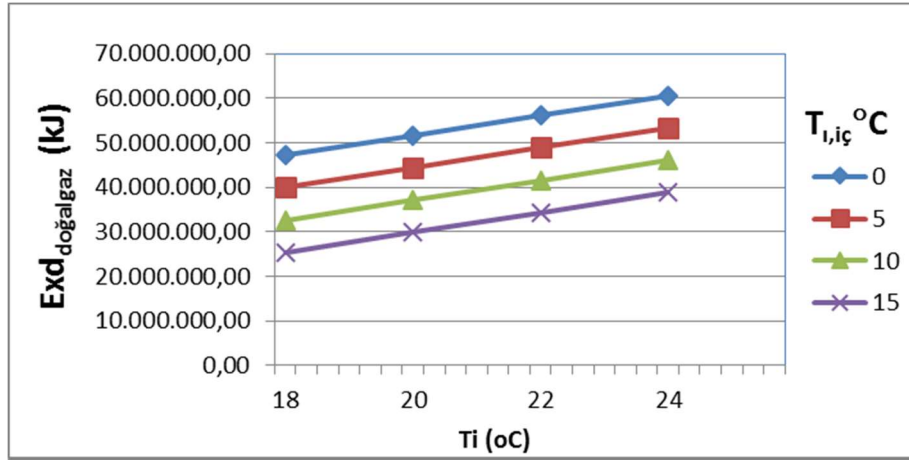
Şekil 5. Isıtılmayan ortam sıcaklığının 10°C durumunda ısı gereksinimlerinin değişimi.

Şekil 5 incelendiğinde, ısıtma ihtiyacı için gerekli ısı enerjisi değerleri 3167485.68 kJ -14489416.31 kJ arasında değişmektedir. İç ortam tasarım sıcaklığı arttığında beklenildiği gibi ısı gereksinimleri de artmaktadır. En yüksek ısı gereksinimi iç ortam sıcaklığının 24 °C olması durumunda Aralık-Ocak aylarında belirlenmiştir.



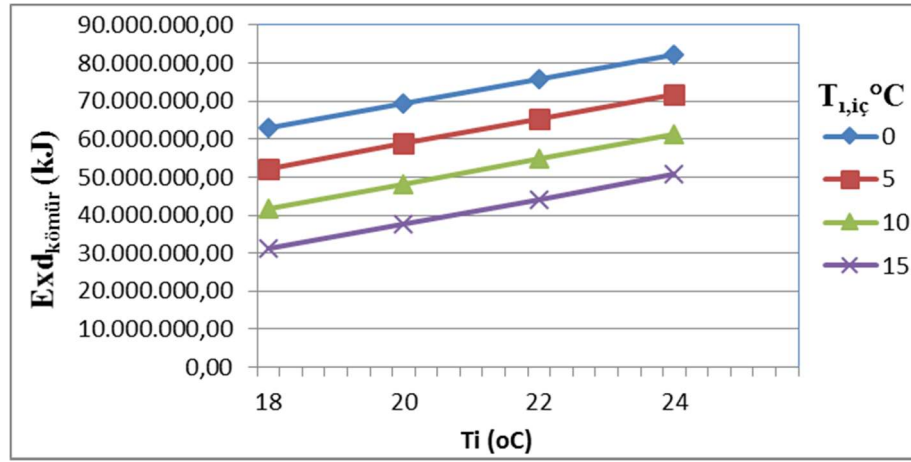
Şekil 6. Isıtılmayan ortam sıcaklığının 15°C durumunda ısı gereksinimlerinin değişimi.

Şekil 6 incelendiğinde, ısıtma ihtiyacı için gerekli ısı enerjisi değerleri 595648.29 kJ -11917578.92 kJ arasında değişmektedir. İç ortam tasarım sıcaklığı arttığında beklenildiği gibi ısı gereksinimleri de artmaktadır. En yüksek ısı gereksinimi iç ortam sıcaklığının 24 °C olması durumunda Aralık-Ocak aylarında belirlenmiştir.



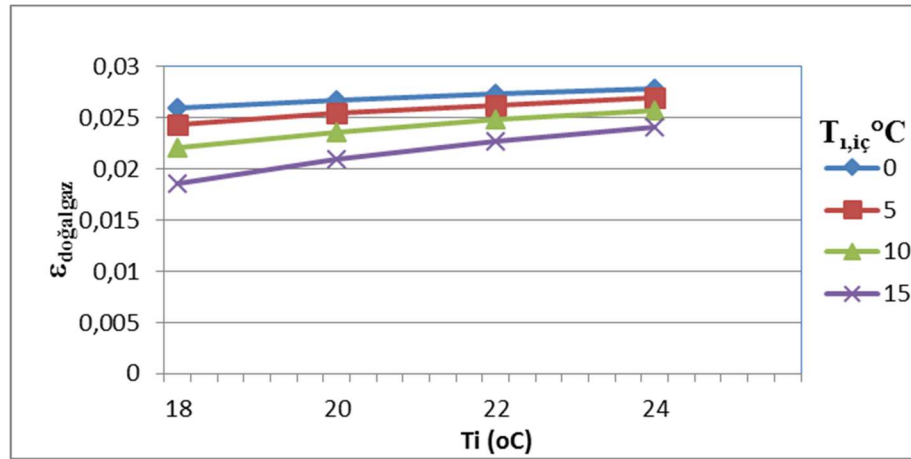
Şekil 7. Doğalgaz kullanılması durumunda ekserji kayıpları

Şekil 7. incelendiğinde, yakıt olarak doğalgaz kullanılması durumu için KH sıcaklık parametrelerine (Ti°C) bağlı olarak, ısıtılmayan iç ortam sıcaklık değeri düştüğünde yıkımın daha fazla gerçekleştiği görülmüştür.



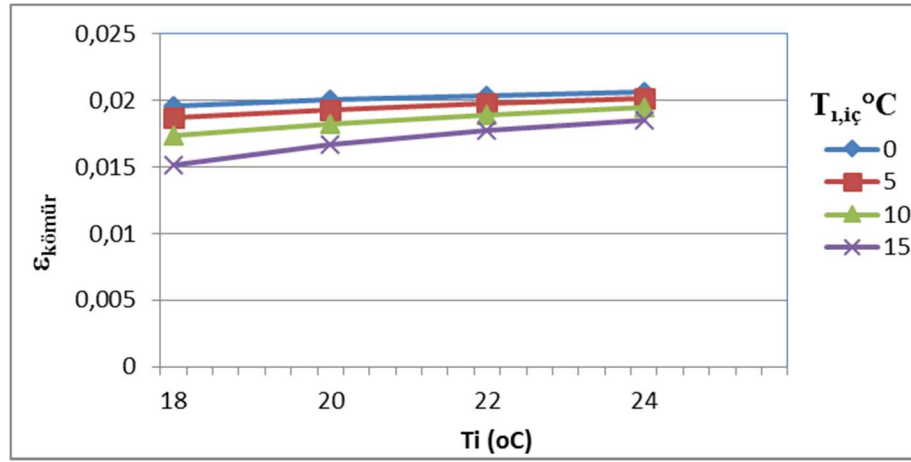
Şekil 8. Kömür kullanılması durumunda ekserji kayıpları

Şekil 8. incelendiğinde, yakıt olarak kömür kullanılması durumu için KH sıcaklık parametrelerine (T_i °C) bağlı olarak, ısıtılmayan iç ortam sıcaklık değeri düştüğünde yıkımın daha fazla gerçekleştiği görülmüştür. Ekserji verim değişimleri Şekil 9-10'da verildiği gibidir.



Şekil 9. Doğalgaz kullanılması durumunda ekserji verimliliği

Şekil 9. Doğal gaz yakıt olarak kullanılması durumunda HK sıcaklık parametrelerine bağlı olarak, $T_{1,iç}$ 0 °C ve T_i 24 °C durumunda en yüksek verim 0.028 olarak hesaplanırken, en düşük verim ise sıcaklık parametreleri $T_{1,iç}$ 15 °C ve T_i 18 °C durumunda 0.019 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre ise ekserji verimliliği oldukça düşük bulunmuştur.



Şekil 10. Kömür kullanılması durumunda ekserji verimliliği

Şekil 10 kömür yakıt olarak kullanılması durumunda KH sıcaklık parametrelerine bağlı olarak, $T_{1,iç}$ 0 ° C ve T_i 24 ° C durumunda en yüksek verim 0.021 olarak hesaplanırken, en düşük verim ise sıcaklık parametreleri $T_{1,iç}$ 15 ° C ve T_i 18 ° C durumunda 0.015 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre ise ekserji verimliliği oldukça düşük bulunmuştur.

IV. SONUÇLAR

Yakıt olarak doğalgaz kullanılması durumunda ekserji yıkımı değerleri azalmaktadır. Sistemin farklı yakıtlar kullanılması durumunda ekserji verimi aynı koşullar baz alındığında, KH'nin 24°C olması ve ısıtılmayan ortam sıcaklığının 0°C olması durumunda Exddoğalgaz'ın en yüksek değeri 60570451.46(kJ) ile Exdkömür'ün en yüksek değeri 82174366.91(kJ) için kıyaslandığında, yaklaşık olarak %26'lık ekserji yıkımında düşüş meydana gelmiştir.

KH'nin 18°C olması ve ısıtılmayan ortam sıcaklığının 15°C olması durumunda Exddoğalgaz'ın en düşük değeri 25376917.93(kJ) ile Exdkömür'ün en düşük değeri 31324454.91(kJ) için kıyaslandığında, yaklaşık olarak %19'luk ekserji yıkımında düşüş meydana gelmiştir.

Buna bağlı olarak ısı gereksinimi arttığında doğalgaz kullanımı ekserji verimliliği açısından daha verimlidir. Ekserji verimliliği, yakıt olarak doğalgaz kullanılması durumunda ve tüm parametreler göz önüne alındığında 0.018598869-0.027845905 arasında ve yakıt olarak kömür kullanılması durumunda ve tüm parametreler göz önüne alındığında 0.015120921-0.020676492 arasında çıkmıştır. Bu parametrelerde; KH'nin 24°C olması ve ısıtılmayan ortamın 0°C olması durumunda verimliliğin en yüksek değere, KH'nin 18°C olması ve ısıtılmayan ortamın 15°C olması durumunda verimliliğin en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Buna rağmen ekserji verimleri oldukça düşüktür. Bunu sebebi atık ısılardan fayda sağlanamaması, enerjinin ısı enerjisi olarak kullanılmamasından kaynaklanmaktadır. Ekserji artırımı yapmak için yanma sonun atıklarının değerlendirilmesi düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Schmidt, D. (2004). Design of low exergy buildings-method and a pre-design tool. *The International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*, 3(2004), 1-47.
- [2] Shukuya, M. (2009). Exergy concept and its application to the built environment. *Building and Environment*, 44(7), 1545-1550.
- [3] Balta, M. T., Kalinci, Y., & Hepbasli, A. (2008). Evaluating a low exergy heating system from the power plant through the heat pump to the building envelope. *Energy and Buildings*, 40(10), 1799-1804.

- [4] Han, T., Zheng, Y., & Gong, G. (2017). Exergy analysis of building thermal load and related energy flows in buildings. *Indoor and Built Environment*, 26(9), 1257-1273.
- [5] TSE (Türk Standartları Enstitüsü), 2013. TS 825:Binalarda Isı Yalıtım Kuralları.
- [6] Arslan, O., Ozgur, M. A., Yildizay, H. D., & Kose, R. (2009). Fuel effects on optimum insulation thickness: an exergetic approach. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32(2), 128-147.
- [7] Hepbasli, A. (2008). A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(3), 593-661.
- [8] Yücer, C. T. (2016). Ekserji Analizi Yöntemi Kullanılarak Bina Isıtma Sistemlerinin İncelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 57(681), 59-64.
- [9] Termodinamik.info. *Doğalgaz Yakıtlı Kazanlar*. <https://www.termodinamik.info/dogal-gaz-yakitli-kazanlar>

Araştırma Makalesi - Research Article

Üçgensel Matris Halkalarında İnvolutifler

Tuğba Petik^{1*}, Leman Hocaoğlu², Halim Özdemir³

Geliş / Received: 21/02/2020

Revize / Revised: 09/04/2020

Kabul / Accepted: 13/04/2020

ÖZ

R , 1 birimli, involutifleri sadece -1 ve 1 olan bir değişmeli halka ve M , elemanları R halkası üzerinden alınan bir üst üçgensel matrisler halkası olsun. Çalışmada, M halkasından alınan bir elemanın involutif olması için gerek ve yeter koşullar ortaya koyulmaktadır. Ayrıca, R sonlu olduğunda, M halkasındaki involutif elemanların sayısını belirleyen bir sonuç verilmekte ve bu sonuç sayısal örneklerle desteklenmektedir.

Anahtar Kelimeler- İnvolutif matrisler, Üçgensel matrisler, Matris halkaları

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: tpetik@sakarya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-4635-2776>)

Matematik Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Sakarya, Türkiye

²İletişim: lemanhocaoglu06@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-3561-0020>)

Matematik Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Sakarya, Türkiye

³İletişim: hozdemir@sakarya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-4624-437X>)

Matematik Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Sakarya, Türkiye

Involutives in Triangular Matrix Rings

ABSTRACT

Let R be a commutative ring with identity 1 whose involutives are only -1 and 1 , and let M be an upper triangular matrices ring which entries are taken from the ring R . In the study, it is established the necessary and sufficient conditions for an element taken from the ring M to be involutive. Also, when R is finite, it is given a result determining the number of involutive elements in the ring M , and this result is supported by numerical examples.

Keywords- Involutive matrices, Triangular matrices, Matrix rings

I. GİRİŞ

Çalışma boyunca \mathbb{N} , doğal sayılar kümesini, R , 1 birimli ve involütifleri (Bir $a \in R$ elemanına, eğer $a^2 = 1$ ise, R 'nin bir involütif elemanı denir) sadece -1 ve 1 olan bir değişmeli halkayı, $|R|$, R 'nin eleman sayısını, $T(n, R)$ ve $T(\infty, R)$, sırasıyla, elemanları R halkasından alınan, $n \in \mathbb{N}$ olmak üzere tüm $n \times n$ boyutlu üst üçgensel matrisler halkasını ve sonsuz boyutlu üst üçgensel matrisler halkasını gösterecektir.

Matris teorisinde çalışılan özel tipli matrislerin (idempotent, involütif, nilpotent, tripotent vs) lineer bileşimlerinin karakterizasyonu ile ilgili çalışmalara benzer olarak, halka teorisinde de özel tipli matrislerin karakterizasyonu ile ilgili çalışmalar son yıllarda ilgi görmeye başlamıştır. 1991'de Hannah ve O'Meara, matris halkalarında, eş zamanlı üçgenselleştirilebilir idempotent matrislerin çarpımını karakterize etmişlerdir [1]. 2005'de Foşner, keyfi bir F cismi üzerinde $n \times n$ boyutlu tüm üst üçgensel idempotent matrislerin kısmi sıralı kümelerinin otomorfizmalarını koruyarak ortogonalliğin genel formunu elde etmiştir [2]. 2009'da Chen ve arkadaşları, elemanları, değişmeli olan bir idempotent ve bir birimin toplamı olarak tek türlü ifade edilebilen halkalar üzerinde çalışmışlardır [3]. 2016 yılında Ying ve arkadaşları, ilk olarak bir R halkasının her elemanının değişmeli bir idempotent ve bir tripotentin toplamı olmasının gerek ve yeter koşullarını; daha sonra her elemanın değişmeli iki idempotentin toplamı veya farkı olması için gerek ve yeter koşulları ve son olarak her elemanın değişmeli iki tripotentin toplamı olması için gerek ve yeter koşulları araştırmışlardır [4]. 2017'de Sheibani ve Chen, her elemanı bir tripotent ve bir nilpotent matrisin toplamı olan bir matris halkası üzerinde çalışmalar yapmışlardır [5]. 2018'de Zhou, önce, her elemanı, biri diğerleri ile değişmeli olan bir nilpotent, bir idempotent ve bir tripotentin toplamı olan halkalar, daha sonra da her elemanı, biri diğerleri ile değişmeli olan bir nilpotent ve iki tripotentin toplamı olan halkalar üzerinde çalışmalar yapmıştır [6]. 2018'de Danchev, elemanları, üç tane değişmeli idempotentin toplamı veya iki tane değişmeli idempotentin negatif toplamı olan halkalar üzerinde çalışmıştır [7]. 2019'da Cheraghpour ve Ghosseiri, sonlu bir F cismi üzerindeki bir matris halkasının idempotentlerinin ve sıfır bölenlerinin sayısını hesaplamışlardır [8]. Yine 2019'da Tang ve arkadaşları, Hirano-Tomigana'nın her elemanı iki idempotentin toplamı olan halkalar üzerindeki çalışması (bkz: [11]) ve Seguin-Pazzis'in pozitif karakteristikli bir cisim üzerindeki her matrisin, idempotentlerin toplamına ayrıştırılması ile ilgili çalışmasından (bkz: [12]) esinlenerek bir değişmeli halka üzerinde üç idempotent ve üç involütif matrisin toplamı olan matrisleri incelemişlerdir [9]. Yine 2019'da Hou, üçgensel matris halkalarında idempotentlerin yapısını inceleyerek, halkanın sonlu boyutlu olması durumunda bu tip matrislerin sayısını belirleyen bir sonuç elde etmiştir [10].

Bu çalışmada önce, üçgensel matris halkalarında idempotent matrislerin karakterizasyonuna benzer şekilde üçgensel matris halkalarında involütif matrislerin yapısı karakterize edilecektir. Sonra, halkanın sonlu boyutlu olması durumunda bu tip matrislerin sayısını ortaya koyan bir sonuç verilecektir.

II. ANA SONUÇLAR

M , $T(n, R)$ veya $T(\infty, R)$ olmak üzere $A = [a_{ij}] \in M$ bir involütif eleman olsun. $A^2 = I$ olduğundan,

$$\begin{aligned} a_{ii}^2 &= 1, \\ a_{ii}a_{i,i+1} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+1} &= 0, \\ a_{ii}a_{i,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} + a_{i,i+2}a_{i+2,i+2} &= 0, \\ a_{ii}a_{i,i+3} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+3} + a_{i,i+2}a_{i+2,i+3} + a_{i,i+3}a_{i+3,i+3} &= 0, \\ &\vdots \\ \sum_{l=0}^k a_{i,i+l}a_{i+l,i+k} &= 0, \\ &\vdots \end{aligned}$$

elde edilir. R halkası değişmeli olduğundan, bu denklemler sisteminin aşağıdaki sisteme denk olduğu açıktır.

$$\begin{aligned}
 a_{ii}^2 &= 1, \\
 (a_{ii} + a_{i+1,i+1})a_{i,i+1} &= 0, \\
 (a_{ii} + a_{i+2,i+2})a_{i,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} &= 0, \\
 (a_{ii} + a_{i+3,i+3})a_{i,i+3} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+3} + a_{i,i+2}a_{i+2,i+3} &= 0, \\
 &\vdots \\
 (a_{ii} + a_{i+k,i+k})a_{i,i+k} + \sum_{l=1}^{k-1} a_{i,i+l}a_{i+l,i+k} &= 0, \\
 &\vdots
 \end{aligned} \tag{1}$$

Böylece $A \in T(2, R)$ ve $A^2 = I$ olduğunda (1) denklemlerinden, $a \in R$ keyfi olmak üzere, A matrisinin

$$\begin{pmatrix} \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \pm 1 & a \\ 0 & \mp 1 \end{pmatrix}$$

biçimlerinden birine sahip olduğu hemen görülür.

Benzer şekilde, $A \in T(3, R)$ ve $A^2 = I$ olduğunda, (1) denklemlerinden, $a, b \in R$ keyfi olmak üzere, A matrisinin

$$\begin{pmatrix} \pm 1 & a & b \\ 0 & \mp 1 & 0 \\ 0 & 0 & \mp 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \pm 1 & 0 & b \\ 0 & \pm 1 & a \\ 0 & 0 & \mp 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \pm 1 & a & \mp ab/2 \\ 0 & \mp 1 & b \\ 0 & 0 & \pm 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 \end{pmatrix}$$

biçimlerinden birine sahip olduğu kolaylıkla görülebilir.

Bu şekilde incelemeye devam edilerek, daha yüksek boyutlu durumlar karakterize edilebilir. Aşağıdaki teorem, sonlu veya sonsuz boyutlu üst üçgensel matris halkalarındaki bir elemanın involutif olması için sağlaması gereken özellikleri ortaya koyar.

Teorem 2.1. R , 1 birimli ve involutifleri sadece -1 ve 1 olan bir değişmeli halka olsun. M , $T(\infty, R)$ veya $n \in \mathbb{N}$ olmak üzere $T(n, R)$ matris halkası olsun. Bu durumda, bir $A = [a_{ij}] \in M$ matrisinin involutif olmasının gerek ve yeter koşulları,

i) Tüm i ler için $a_{ii} \in \{-1, 1\}$ ' dir,

ii) $i < j$ için eğer $a_{ii} = a_{jj}$ ise, bu durumda $a_{ij} = \begin{cases} 0 & , j = i+1 \\ -\frac{1}{4}(a_{ii} + a_{jj}) \sum_{l=i+1}^{j-1} a_{il}a_{lj} & , j > i+1 \end{cases}$ dir,

iii) $i < j$ için eğer $a_{ii} \neq a_{jj}$ ise, a_{ij} keyfidir

özelliklerinin sağlanmasıdır.

İspat. $A = [a_{ij}]$, M 'nin bir involutif elemanı olsun. Önce gereklilik kısmını ispatlayalım. A matrisinin elemanlarının (1) denklem sistemini sağladığı açıktır. R 'nin involutifleri sadece -1 ve 1 olduğundan (1) denklem sisteminin ilk denkleminde $a_{ii} \in \{-1, 1\}$ elde edilir. Böylece (i) şıkkı sağlanır.

A matrisinin ana köşegeninin üzerindeki üst köşegenlerin sayısı $k = j - i$ olsun. Üst köşegenlerde $i > j$ olduğundan $k \geq 1$ ' dir. (ii) ve (iii) şıklarının ispatı için, $k = 1$ ve $k > 1$ olması durumlarını ayrı ayrı inceleyeceğiz.

$k = 1$ olması durumu.

(1) denklem sisteminin ikinci denkleminde,

$$(a_{ii} + a_{i+1,i+1})a_{i,i+1} = 0 \quad (2)$$

eşitliğine sahibiz. $a_{ii} \in \{-1, 1\}$ olduğu dikkate alınrsa (2) eşitliğinden; $a_{ii} = a_{i+1,i+1}$ ise, $a_{i,i+1} = 0$ olduğu ve $a_{ii} \neq a_{i+1,i+1}$ ise, $a_{i,i+1}$ 'nin keyfi seçilebileceği görülür. Dolayısıyla $k = 1$ için (ii) ve (iii) sağlanır.

$k > 1$ olması durumu.

(1) sisteminin $(k+1)$. denklemini ele alalım:

$$(a_{ii} + a_{i+k,i+k})a_{i,i+k} + \sum_{l=1}^{k-1} a_{i,i+l}a_{i+l,i+k} = 0 \quad (3)$$

$a_{ii} \in \{-1, 1\}$ ve R 'nin birim elemanı 1 olduğundan, eğer $a_{ii} = a_{i+k,i+k}$ ise,

$$a_{ii} + a_{i+k,i+k} = 4(a_{ii} + a_{i+k,i+k})^{-1} = \begin{cases} 2, & a_{ii} = a_{i+k,i+k} = 1 \text{ ise} \\ -2, & a_{ii} = a_{i+k,i+k} = -1 \text{ ise} \end{cases}$$

dir. Böylece (3)' ün her iki tarafı $(a_{ii} + a_{i+k,i+k})^{-1}$ ile çarpılarak $a_{i,i+k} = -\frac{1}{4}(a_{ii} + a_{i+k,i+k}) \sum_{l=1}^{k-1} a_{i,i+l}a_{i+l,i+k}$ elde edilir. Dolayısıyla (ii) şıkkı sağlanır.

Eğer $a_{ii} \neq a_{i+k,i+k}$ ise, bu durumda $a_{ii} + a_{i+k,i+k} = 0$ olmalıdır. Dolayısıyla (3)' ten

$$\sum_{l=1}^{k-1} a_{i,i+l}a_{i+l,i+k} = 0 \text{ elde edilir.}$$

$$\text{Şimdi, } A(k, i) = \begin{pmatrix} a_{ii} & a_{i,i+1} & \cdots & a_{i,i+k} \\ & a_{i+1,i+1} & \cdots & a_{i+1,i+k} \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & a_{i+k,i+k} \end{pmatrix} \text{ matrisi, } A \text{ matrisinin bir alt matrisi olsun. } A(k, i)$$

matrisini

$$A(k, i) = \begin{pmatrix} a_{ii} & \alpha & a_{i,i+k} \\ \mathbf{0} & \beta & \gamma \\ 0 & \mathbf{0} & a_{i+k,i+k} \end{pmatrix} \quad (4)$$

şeklinde bir blok matris olarak yazalım. A bir involutif matris olduğundan, A 'nın köşegeni üzerindeki bir bloğu olan $A(k, i)$ matrisi de involutiftir. Dolayısıyla, $A(k-1, i) = \begin{pmatrix} a_{ii} & \alpha \\ \mathbf{0} & \beta \end{pmatrix}$ ve

$$A(k-1, i+1) = \begin{pmatrix} \beta & \gamma \\ \mathbf{0} & a_{i+k,i+k} \end{pmatrix} \text{ blok matrisleri de involutiftir.}$$

$(A(k-1, i))^2 = I$ olduğundan,

$$\begin{pmatrix} a_{ii}^2 & \alpha_{ii}\alpha + \alpha\beta \\ \mathbf{0} & \beta^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & I \end{pmatrix}$$

ve buradan

$$a_{ii}\alpha + \alpha\beta = \mathbf{0} \text{ ve } \beta^2 = I \quad (5)$$

bulunur. Benzer şekilde, $(A(k-1, i+1))^2 = I$ olduğundan,

$$\begin{pmatrix} \beta^2 & \beta\gamma + \gamma a_{i+k,i+k} \\ \mathbf{0} & a_{i+k,i+k}^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & 1 \end{pmatrix}$$

ve buradan,

$$\beta\gamma + \gamma a_{i+k,i+k} = \mathbf{0} \text{ ve } \beta^2 = I \quad (6)$$

elde edilir. Böylece, $a_{ii}^2 = a_{i+k,i+k}^2 = 1$ olduğu dikkate alınarak, (5) ve (6)'dan

$$I = (A(k, i))^2 = \begin{pmatrix} 1 & \mathbf{0} & a_{ii}a_{i,i+k} + \alpha\gamma + a_{i,i+k}a_{i+k,i+k} \\ \mathbf{0} & I & \mathbf{0} \\ 0 & \mathbf{0} & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

bulunur.

Hatırlırsa, $\sum_{l=1}^{k-1} a_{i,i+l} a_{i+l,i+k} = 0$ idi. Bu eşitliğin sol yanındaki toplam $\alpha\gamma$ çarpımına eşittir.

Dolayısıyla, (7)'deki matrisin $(1, k+1)$. elemanı $(a_{ii} + a_{i+k,i+k})a_{i,i+k}$ 'ya eşittir. Fakat, $a_{ii} + a_{i+k,i+k} = 0$ olduğundan, bu eleman doğrudan 0 olur. Dolayısıyla, $a_{i,i+k}$ 'nın değeri ne olursa olsun, $A(k, i)$ matrisi involutif olur. Böylece, (iii) şıkkı sağlanır.

Yeterlilik kısmının ispatına geçelim. A elemanı teoremin (i), (ii) ve (iii) şıklarındaki şartları sağlasın. Gösterilmesi gereken, A matrisinin involutif olduğudur. Bunun için k üzerinde tümevarım uygulayacağız.

Tüm $A(2, i)$ alt matrislerinin involutif olduğunu gösterelim.

$$\begin{pmatrix} a_{ii} & a_{i,i+1} & a_{i,i+2} \\ 0 & a_{i+1,i+1} & a_{i+1,i+2} \\ 0 & 0 & a_{i+2,i+2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{ii} & a_{i,i+1} & a_{i,i+2} \\ 0 & a_{i+1,i+1} & a_{i+1,i+2} \\ 0 & 0 & a_{i+2,i+2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{ii}^2 & a_{ii}a_{i,i+1} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+1} & a_{ii}a_{i,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} + a_{i,i+2}a_{i+2,i+2} \\ 0 & a_{i+1,i+1}^2 & a_{i+1,i+1}a_{i+1,i+2} + a_{i+1,i+2}a_{i+2,i+2} \\ 0 & 0 & a_{i+2,i+2}^2 \end{pmatrix} \quad (8)$$

olup, (i) şıkkından dolayı $a_{ii}^2 = 1$, $a_{i+1,i+1}^2 = 1$, $a_{i+2,i+2}^2 = 1$ olduğu açıktır. $a_{ii} = a_{i+1,i+1}$ ise, (ii) şıkkından $a_{i,i+1} = 0$, dolayısıyla, $a_{ii}a_{i,i+1} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+1} = 0$ 'dır. $a_{ii} \neq a_{i+1,i+1}$ ise, $a_{ii} + a_{i+1,i+1} = 0$, dolayısıyla $(a_{ii} + a_{i+1,i+1})a_{i,i+1} = 0$ olur. Böylece (8)'in (1,2). elemanı 0 olur.

Benzer şekilde,

$a_{i+1,i+1} = a_{i+2,i+2}$ ise, (ii) şıkkından, $a_{i+1,i+2} = 0$ ve dolayısıyla $a_{i+1,i+1}a_{i+1,i+2} + a_{i+1,i+2}a_{i+2,i+2} = 0$ olur. $a_{i+1,i+1} \neq a_{i+2,i+2}$ ise, $a_{i+1,i+1} + a_{i+2,i+2} = 0$ ve buradan yine, $(a_{i+1,i+1} + a_{i+2,i+2})a_{i+1,i+2} = 0$ olur. Böylece (8)'in (2,3). elemanı 0 olur.

Şimdi, (1,3). elemanı için inceleme yapalım. $a_{ii} = a_{i+2,i+2}$ ve $a_{ii} \neq a_{i+2,i+2}$ durumlarını ayrı ayrı inceleyeceğiz.

$a_{ii} = a_{i+2,i+2}$ olması durumu.

Bu durumda, (ii) şıkkından,

$$a_{i,i+2} = -\frac{1}{4}(a_{ii} + a_{i+2,i+2}) \sum_{l=i+1}^{i+1} a_{il}a_{l,i+2} = -\frac{1}{4}(a_{ii} + a_{i+2,i+2})a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} \quad (9)$$

olur. Şimdi, $a_{ii} = a_{i+2,i+2} = 1$ ise, (9)'dan $a_{i,i+2} = -\frac{1}{4}2a_{i,i+1}a_{i+1,i+2}$ yani,

$$a_{i,i+2} = -\frac{1}{2}a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} \quad (10)$$

elde edilir. Öte yandan

$$a_{ii}a_{i,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} + a_{i,i+2}a_{i+2,i+2} = (a_{ii} + a_{i+2,i+2})a_{i,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} = 2a_{i,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2}$$

dir. Buradan, (10) dikkate alınır, $a_{ii}a_{i,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} + a_{i,i+2}a_{i+2,i+2} = -a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} = 0$ olur.

Benzer şekilde, $a_{ii} = a_{i+2,i+2} = -1$ ise, (9)'dan $a_{i,i+2} = -\frac{1}{4}(-2)a_{i,i+1}a_{i+1,i+2}$, yani

$$a_{i,i+2} = \frac{1}{2}a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} \quad (11)$$

elde edilir. Ayrıca,

$$a_{ii}a_{i,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} + a_{i,i+2}a_{i+2,i+2} = (a_{ii} + a_{i+2,i+2})a_{i,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} = -2a_{i,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2}$$

olup, (11) dikkate alınır, $a_{ii}a_{i,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} + a_{i,i+2}a_{i+2,i+2} = -a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} = 0$ bulunur. Böylece, (8)'in (1,3). elemanının 0 olduğu görülür.

$a_{ii} \neq a_{i+2,i+2}$ olması durumu.

Bu durumda, $a_{ii} + a_{i+2,i+2} = 0$ olmakla birlikte iki durum söz konusudur:

1. $a_{ii} = a_{i+1,i+1}$ olması durumu.

Bu durumda, (ii) şıkkından $a_{i,i+1} = 0$ olduğundan, (8)'in (1,3). elemanı $(a_{ii} + a_{i+2,i+2})a_{i,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} = 0$ şeklinde olur.

2. $a_{ii} \neq a_{i+1,i+1}$ olması durumu.

Bu durumda, $a_{i+1,i+1} = a_{i+2,i+2}$ ise (ii) şıkkından $a_{i+1,i+2} = 0$ olduğundan $(a_{ii} + a_{i+2,i+2})a_{i,i+2} + a_{i,i+1}a_{i+1,i+2} = 0$ olur.

Not edelim ki $a_{ii} \neq a_{i+2,i+2}$ ve $a_{ii} \neq a_{i+1,i+1}$ iken $a_{i+1,i+1} \neq a_{i+2,i+2}$ durumu imkansız durumdur. Böylece, her durumda, (8)'in (1,3). elemanı daima sıfırdır. Sonuç olarak, $A(2, i)$ matrisi involutiftir.

Şimdi, kabul edelim ki $A(2, i), A(3, i), \dots, A(k-1, i)$ matrisleri tüm i ler için involutif olsun. İspatlamak istediğimiz $A(k, i)$ ' nin de her i için involutif olduğudur.

$A(k, i)$ matrisi, (4) biçiminde yazılabildiğinden,

$$(A(k, i))^2 = \begin{pmatrix} a_{ii}^2 & a_{ii}\alpha + \alpha\beta & \alpha\gamma + (a_{ii} + a_{i+k, i+k})a_{i, i+k} \\ \mathbf{0} & \beta^2 & \beta\gamma + a_{i+k, i+k}\gamma \\ 0 & \mathbf{0} & a_{i+k, i+k}^2 \end{pmatrix} \quad (12)$$

dir. Kabulümüze göre

$$(A(k-1, i))^2 = \begin{pmatrix} a_{ii} & \alpha \\ \mathbf{0} & \beta \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} a_{ii}^2 & a_{ii}\alpha + \alpha\beta \\ \mathbf{0} & \beta^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & I \end{pmatrix} \quad (13)$$

ve

$$(A(k-1, i+1))^2 = \begin{pmatrix} \beta & \gamma \\ \mathbf{0} & a_{i+k, i+k} \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} \beta^2 & \beta\gamma + \gamma a_{i+k, i+k} \\ \mathbf{0} & a_{i+k, i+k}^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & 1 \end{pmatrix}$$

şeklinde yazılabilir. Bu matris eşitliklerinden,

$$\begin{aligned} a_{ii}\alpha + \alpha\beta &= \mathbf{0} \\ \beta\gamma + \gamma a_{i+k, i+k} &= \mathbf{0} \end{aligned} \quad (14)$$

elde edilir. (14) eşitliklerinin ilki γ ile sağdan, ikincisi α ile soldan çarpılırsa,

$$\begin{aligned} a_{ii}\alpha\gamma + \alpha\beta\gamma &= \mathbf{0} \\ \alpha\beta\gamma + \alpha\gamma a_{i+k, i+k} &= \mathbf{0} \end{aligned}$$

bulunur. Buradan

$$\alpha\beta\gamma = -a_{ii}\alpha\gamma = -\alpha\gamma a_{i+k, i+k} \quad (15)$$

olur.

$a_{ii} \neq a_{i+k, i+k}$ ise, (15)'e göre $\alpha\gamma = 0$ olmalıdır. Ayrıca $a_{ii} + a_{i+k, i+k} = 0$ dir. Böylece $(A(k, i))^2$ nin $(1, k+1)$. elemanı

$$\alpha\gamma + (a_{ii} + a_{i+k, i+k})a_{i, i+k} = 0 \quad (16)$$

olur. Ayrıca, (13)'ten

$$\beta^2 = I, a_{ii}^2 = 1 \text{ ve } a_{i+k, i+k}^2 = 1 \quad (17)$$

dir. Öte yandan $a_{ii} = a_{i+k, i+k}$ ise, (ii) şıkkının ikinci durumundan,

$$a_{ii} = a_{i+k,i+k} = 1 \text{ ise } a_{i,i+k} = \frac{\alpha\gamma}{-2}$$

ve

$$a_{ii} = a_{i+k,i+k} = -1 \text{ ise } a_{i,i+k} = \frac{\alpha\gamma}{2}$$

bulunur. Yani, $a_{ii} = a_{i+k,i+k} = 1$ ise

$$\alpha\gamma + (a_{ii} + a_{i+k,i+k})a_{i,i+k} = \alpha\gamma + 2a_{i,i+k} = \alpha\gamma + 2\frac{\alpha\gamma}{-2} = 0 \quad (18)$$

ve $a_{ii} = a_{i+k,i+k} = -1$ ise

$$\alpha\gamma + (a_{ii} + a_{i+k,i+k})a_{i,i+k} = \alpha\gamma - 2a_{i,i+k} = \alpha\gamma - 2\frac{\alpha\gamma}{2} = 0 \quad (19)$$

olduğu görülür. Böylece, (12)'deki matris ile birlikte, (14), (16), (17), (18) ve (19) eşitlikleri dikkate alınarak $(A(k, i))^2 = I$ bulunur.

Sonuç olarak, A 'nın üst üçgensel bir matris halkasında bir involutif matris olması için gerek ve yeter koşullar kümesinin (i), (ii) ve (iii) olması gerektiği görülmüş olur.

Sonuç 2.2. R , 1 birimli, involutifleri sadece -1 ve 1 olan bir değişmeli halka olsun. $|R|$, R halkasındaki eleman sayısını gösterebilir. Bu durumda, n pozitif bir tamsayı olmak üzere, $T(n, R)$ matris halkasındaki involutiflerin sayısı,

$$N(n, R) = \sum_{k=0}^n \frac{n!}{k!(n-k)!} |R|^{k(n-k)}$$

ifadesi ile verilir.

İspat. Teorem 2.1'e göre, $T(n, R)$ 'deki üst üçgensel involutif matrislerin sayısı, tam olarak $a_{ii} \neq a_{jj}$ olan köşegen eleman çiftine bağlıdır. Bu olasılıkları hesaplamak için, $d_i \in \{-1, 1\}$, $i = 1, \dots, n$, olmak üzere,

$d = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix}$ vektörünü tanımlayalım. Δ ile, $i < j$ ve $d_i \neq d_j$ olmak üzere (d_i, d_j) çiftlerinin sayısını

gösterelim. $f = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix}$, $g = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_n \end{bmatrix}$, $i = 1, \dots, n$ için $f_i, g_i \in \{0,1\}$ ve $f_i \neq g_i$ olmak üzere $d = f - g$

olarak yazılabilir. Δ 'nın aynı zamanda $i < j$ ve $f_i \neq f_j$ olan (f_i, f_j) ikililerinin sayısına da eşit olduğunu görmek kolaydır.

F , i . satır ve j . sütundaki elemanı,

$$f_i(1-f_j) + (1-f_i)f_j = \begin{cases} 1, & f_i \neq f_j \\ 0, & f_i = f_j \end{cases} \quad (20)$$

olan $n \times n$ boyutlu bir matris olsun. (20)'nin sol tarafı, e vektörü, tüm elemanları 1 olan n -boyutlu bir vektör olmak üzere, $F = f(e-f)' + (e-f)f'$ olarak yazılabileceğini gösterir. $e'Fe$, F 'nin elemanları toplamı, $k = e'f$, f 'deki elemanların toplamı ve $n = e'e$ olduğu açıktır.

Δ , F 'deki elemanların toplamının yarısına eşit olduğundan,

$$\Delta = \frac{e'Fe}{2} = \frac{e'[f(e-f)' + (e-f)f']e}{2} = \frac{(e'f)[(e-f)'e] + [e'(e-d)](d'e)}{2} = k(n-k)$$

elde edilir. Δ , f 'de görünen 0 ve 1 elemanlarının; dolayısıyla d 'de görünen 1 ve -1 elemanlarının sırasından bağımsızdır. Sonuç olarak, ana köşegen üzerinde k tane 1 elemanının ve $n-k$ tane -1 elemanının her bir düzenlemesi, $|R|^{k(n-k)}$ tane üst üçgensel involutif matrise götürür. Böyle bir düzenlemeyi seçmek için

$\frac{n!}{k!(n-k)!}$ tane yol olduğundan ispat tamamlanır.

(1) denklem sisteminin altında verilen 2×2 boyutlu matris örneklerine bakıldığında, ana köşegen üzerinde 2 tane 1 elemanı içeren 1 tane; 2 tane -1 elemanı içeren 1 tane ve 1 tane 1 elemanı içerep, 1 tane de -1 elemanı içeren 2 tane matris vardır. Fakat, bu son iki matris, üst köşegen üzerinde 1 tane keyfi eleman içerir. Yani toplamda $2 + 2|R|$ tane 2×2 boyutlu üst üçgensel involutif matris vardır.

Öte yandan, Sonuç 2.2'ye göre, 2×2 boyutlu üst üçgensel involutif matrislerin sayısının

$$\begin{aligned} N(2, R) &= \sum_{k=0}^2 \frac{2!}{k!(2-k)!} |R|^{k(2-k)} \\ &= 2 + 2|R| \end{aligned}$$

olduğu açıktır. Bu durum, 2×2 boyutlu matrisler için verilen örneklerin, Sonuç 2.2 ile uyumlu olduğunu gösterir.

Benzer şekilde, 3×3 boyutlu matrisler için verilen örneklere bakıldığında, ana köşegen üzerinde 2 tane -1 elemanı ve 1 tane 1 elemanı içeren matris sayısı 3 (üst köşegenler üzerinde ikişer tane keyfi değişken içeren); 1 tane -1 elemanı ve 2 tane 1 elemanı içeren matris sayısı 3 (üst köşegenler üzerinde ikişer tane keyfi değişken içeren); 3 tane 1 elemanı içeren matris sayısı 1 ve 3 tane -1 elemanı içeren matris sayısı 1 dir. Yani, 3×3 boyutlu üst üçgensel involutif matrislerin sayısı $3|R|^2 + 3|R|^2 + 1 + 1 = 2 + 6|R|^2$ dir.

Öte yandan, Sonuç 2.2'ye göre,

$$\begin{aligned} N(3, R) &= \sum_{k=0}^3 \frac{3!}{k!(3-k)!} |R|^{k(3-k)} \\ &= 2 + 6|R|^2 \end{aligned}$$

olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, verilen örnekler, Sonuç 2.2' yi doğrular niteliktedir.

NOT: Sonuç 2.2' deki $k(n-k)$ ifadesi, ana köşegen üzerinde k tane 1' in, $n-k$ tane -1 ' in bulunduğu matrislerin üst köşegenleri üzerindeki keyfi değişken sayısını ifade eder. Ayrıca 2×2 boyutlu üst üçgensel involutiflerin 4 farklı formu, 3×3 boyutlu üst üçgensel involutiflerin 8 farklı formunun mevcut olduğu görülmektedir. Bu sayıların, 2^2 ve 2^3 sayılarından ibaret olduğuna dikkat edelim. Burada, tabandaki 2 sayısı $\{-1, 1\}$ kümesinin eleman sayısını, kuvvetlerdeki sayılar ise, matrislerin mertebesini belirtir. Bu tip örnekler, $n > 3$ tamsayıları için de genişletilebilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, makalenin sunumuna katkı sağlayan yapıcı ve geliştirici önerileri ve değerli yorumları için hakemlere teşekkür etmektedirler.

KAYNAKLAR

- [1] Hannah J., O'Meara K.C. (1991). Products of Simultaneously Triangulable Idempotent Matrices. *Linear Algebra and its Applications*, 149, 185-190.
- [2] Fošner, A. (2005). Automorphisms of the poset of upper triangular idempotent matrices. *Linear and Multilinear Algebra*, 53(1), 27-44.
- [3] Chen, J., Wang, Z., Zhou, Y. (2009). Rings in which elements are uniquely the sum of an idempotent and a unit that commute. *Journal of Pure and Applied Algebra*, 213, 215-223.
- [4] Ying, Z., Koşan, T., and Zhou, Y. (2016). Rings in which Every Element is a Sum of Two Tripotents. *Canad. Math. Bull.*, 59(3), 661-672.
- [5] Sheibani, M. and Huanyin, C. (2017). *Rings over which every matrix is the sum of a tripotent and a nilpotent*. <https://arxiv.org/abs/1702.05605>
- [6] Zhou, Y. (2018). Rings in which elements are sums of nilpotents, idempotents and tripotents. *Journal of Algebra and Its Applications*, 17(1), 1850009 (7 pages).
- [7] Danchev, P.V. (2018). Rings whose elements are sums of three or minus sums of two commuting idempotents, *Albanian Journal of Mathematics*, 12(1), 3-7.

- [8] Cheraghpour, H. and Ghosseiri, Nader M. (2019). On the idempotents, nilpotents, units and zerodivisors of finite rings, *Linear and Multilinear Algebra*, 67(2), 327–336.
- [9] Tang, G., Zhou, Y., and Su, H. (2019). Matrices over a commutative ring as sums of three idempotents or three involutions, *Linear and Multilinear Algebra*, 67(2), 267–277.
- [10] Hou, X. Idempotents in Triangular Matrix Rings, *Linear and Multilinear Algebra*, <https://doi.org/10.1080/03081087.2019.1596223>
- [11] Hirano, Y. and Tominaga, H. (1988). Rings in which every element is the sum of two idempotents. *Bull. Austral. Math. Soc.*, 37(2), 161-164.
- [12] de Seguins C. Pazzis. (2010). On sums of idempotent matrices over a field of positive characteristic, *Linear Algebra Appl.*, 433(4), 856–866.

Araştırma Makalesi - Research Article

YAYsim: Salgın Modelleme ve Karar Destek Sistemi

Mustafa DEMİRBİLEK^{1*}

Geliş / Received: 16/01/2020

Revize / Revised: 13/03/2020

Kabul / Accepted: 22/04/2020

ÖZ

İnsanlık tarihinin başlangıcından itibaren kızıl, kızamık, grip, AIDS gibi bulaşıcı hastalıklar milyonlarca insanın hastalanmasına ve ölmesine, büyük iş gücü kayıplarına ve çok yüksek ekonomik maliyetlere sebep olmuştur. Aşı, karantina ve ilaç gibi müdahale yöntemlerinin, kıt kaynaklar ve maliyetler düşünüldüğünde etkili bir şekilde kullanılmaları için bulaşıcı hastalıklara neden olan bakteri ve virüslerin bir topluluk içinde yayılma dinamiklerinin iyi analiz edilmiş olması gerekmektedir. SIR (Susceptable-Infected-Recovered) bölmeli modelleme yöntemi yaklaşık bir asırdır bulaşıcı hastalıkların bir populasyon içinde yayılma dinamiklerinin modellemesinde ve toplam hasta ve ölü sayısının, hastalığın ekonomik boyutlarının tahmininde kullanılmaktadır. Bu makalede, karar vericilerin ve ilgili kullanıcıların, hastalık şiddeti, iyileşme periyodu, başlangıçtaki hasta sayısı gibi salgın parametrelerini değiştirebilmesine izin vererek, salgının sonuçlarını analiz edebilmelerine yardım edecek, python programlama dilinde kodlanan, YAYsim isimli karar destek programı geliştirilmiştir. YAYsim, Türkiye'deki her şehrin nüfus bilgilerini içermektedir. Bu sayede kullanıcıların, seçilmiş bir şehirde yaşanabilecek bir salgının sonuçlarını görebilmelerine ve bu sonuçlara göre çalıştıkları disiplinler çerçevesinde karar verebilmelerine olanak sağlamaktadır. Son olarak Gaziantep ilinde yaşanabilecek olası bir H1N1 salgını sırasında oluşabilecek hasta ve ölü oranlarını tahmin etmek ve değerlendirmek için örnek bir çalışma yapılmıştır. 1918 İspanyol Gribi yayılma parametreleri baz alınarak yapılan modellemede, Gaziantep nüfusunun %35.8'inin hastalıktan etkilendiği ve %0.7'sinin hayatını kaybettiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- Benzetim, Karar destek sistemi, Salgın modelleme

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: mustafa.demirbilek@gibtu.edu.tr (<http://orcid.org/0000-0002-1520-2882>)
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

YAYsim: Modelling Outbreak and Decision Support System

ABSTRACT

Infectious diseases such as measles, morbillivirus, influenza, AIDS have caused millions of infecteds and deaths, great workforce lost and economical cost since the beginning of civilization. The spread dynamics of bacteria and viruses that cause infectious diseases through a population is carefully analysed to be able to effectively use intervention methods such as vaccination, quarantine, medicine, and etc. while considering scarce resources and costs. SIR (Susceptable-Infected-Recovered) compartmental model has been used to model spread dynamics of infectious diseases through a population, to predict total number of infected and death people and to calculate economical cost of diseases for roughly a century. In this study, we develop a software, YAYsim, coded in Python programming language, to be able to help decision makers and interested users to analyse results of an epidemic or pandemic by allowing them to change disease parameters as attack rates, recovery periods, the number of infected people at the beginning. YAYsim includes demographic information of each city in Turkey. Thus, it enables users to see how a pandemic affects on a selected city and to be able to decide based on their working area according to the results. Finally, an example study is carried out to estimate and evaluate rates of infected and death people during a possible H1N1 pandemic in Gaziantep city. It is observed that 35.8% of Gaziantep's population are affected from the disease and 0.7% of them are death based on the disease parameters of 1918 Spanish Flu.

Keywords- *Simulation, Decision support system, Modelling outbreak*

I. GİRİŞ

İncil’de geçen kara veba salgınlardan bugünkü HIV salgınına kadar bulaşıcı hastalıklar tartışmasız insan tarihinde büyük rol oynamışlardır. İnsanların farklı kıtalara yayılması ile birlikte, yeni patojenler ortaya çıkmış ve büyük salgınlara yol açmışlardır. 1918 İspanyol Gribi sırasında 20 ile 50 milyon arasında insanın öldüğü tahmin edilmektedir ki bu, 1. Dünya Savaşı’nda ölenlerin toplamından çok daha fazladır [1]. 2014-2016 arasında görülen ebola salgını Orta ve Batı Afrika’yı büyük oranda etkilemiş, hastalığa bağlı ortalama ölüm oranı %50’lere yükselmiştir [2].

Ülkemizde de hem Osmanlı Devleti’nin son dönemlerinde hem de Cumhuriyet’in ilk zamanlarında salgın hastalıklarla mücadele edilmiştir. Sıtma vakalarının görünme oranı Ankara da %90, İstanbul da %80 ve diğer büyük şehirlerde %70 kadar ulaşabilmekteydi [3]. Son yıllarda da kuş ve domuz gribi endemikleri, hastalıklara, iş gücü kayıplarına ve ölümlere neden olmaktadır. Diğer yandan Suriyeli vatandaşların, kontrolsüz bir şekilde ülkemiz içine dağılması, uzun yıllar önce etkin aşılama yöntemleriyle etkisini yitiren kızamık, çocuk felci ve tüberküloz gibi hastalıkların yeniden bir salgın haline gelmesi riskini de beraberinde getirmektedir.

Bulaşıcı hastalıkların yayılmasına engel olabilmek, en uygun müdahale metodunu seçebilmek ve gıda, su, ilaç stoklama, gerekli personel ve ekipmaları hazır bulundurma, gereken bölgelere acil operasyon merkezleri kurulması, ulaşım-lojistik-haberleşme faaliyetlerinin organize edilmesi gibi afet yönetimi kapsamında önlemler alabilmek için hastalığın topluluk içinde yayılma dinamikleri iyi analiz edilmelidir. Bu analiz yöntemlerinden, araştırmacıların en çok başvurduklarından biri, Bölmeli (Compartmental) Modelleme yöntemidir. Bu çalışmada yaşanacak olası salgını modellemek için en basit bölmeli modelleme yöntemi olan SIR (Susceptable-Infected-Recovered) modeli kullanılmıştır. Model ile ilgili detaylar bir sonraki bölümde açıklanacaktır.

İlk olarak 1927 yılında Kermack and McKendrick tarafından ortaya konan bölmeli modeller ve matematiksel formülasyonundan itibaren [4] günümüze kadar, bulaşıcı hastalıkların yayılmasını, sonuçlarını ve çeşitli müdahale stratejilerinin uygulanmasını içeren çok sayıda çalışma yayınlanmıştır [5][6]. Bu çalışmalar, çeşitli matematiksel çözümler ve benzetim tabanlı nümerik analizler içerip, ilgilenenlerin ve karar vericilerin direkt olarak kullanabileceği ve değişiklik yapabileceği yapıda değildirler. Bu çalışmanın amacı bulaşıcı hastalıkların yayılmasını modelleyen bir arayüz oluşturmak ve son kullanıcıların en kolay şekilde yararlanmasını sağlamak olduğundan, burada bilgi verilecek makaleler, diğer araştırmacıların, ilgililerin ve karar vericilerin kullanabilmesi için kullanıcı arayüzü ve/veya açık kaynak kod sağlayan çalışmalardan seçilmiştir. Chao vd. [7] C/C++ programlama dilini kullanarak, nesne tabanlı FluTe modelini geliştirdi. Bu modelle Birleşik Devletler’in Seattle eyaletinde çıkacak olası bir grip salgının sonuçlarını değerlendirdiler. Hladish vd. [8] C++ programlama dili kullanarak yine nesne tabanlı modeller geliştirdiler. Farklı şebeke yapıları ve bulaşma modellerini düşünerek salgınların yayılma dinamiklerini ortaya koydular. Liu vd. [9] bulaşıcı hastalıkların yayılmasını, veri yönetimi ve analitiği yönünden modelleyen bir karar destek sistemi tasarladılar. Modellerinde Birleşik Devletler ulaşım ağı, nüfus yapısı ve coğrafi özelliklere yer verdiler. Edlund vd. [10] java tabanlı açık kaynak kodlu, sadece ulaşım ağları ve coğrafi özellikleri değil ayrıca bazı hayvan türlerinin göç yolları ve zamanlarını dikkate alarak bir yazılım tasarladılar. Amaçları, insanlar arasındaki bulaşmanın modellenmesinin yanı sıra hayvanlardan insanlara geçebilen hastalıkların da düşünülmesiydi. Grefenstette vd. [11] C++ programlama diliyle FRED adında nesne tabanlı bir program geliştirdiler. Birçok programın aksine, popülasyondaki bireylerin birbirleriyle karışık olarak interaksyonundan ziyade, bireylerin ev ve iş durumlarına göre interaksyonu modele dahil edilmiştir. Bu şekilde karantina ve okul/iş yeri kapatılma durumları modellenmektedir. Kuylen vd. [12] python tabanlı STRIDE isimli yazılım geliştirdiler. STRIDE farklı yaş gruplarını, sosyal yapıları ve kontak sayılarını baz alarak hastalık yayılımını tahmin etmekte ve sonuçları öngörmekte kullanılmaktadır. Ramirez vd. [13] R programlama dili tabanlı, coğrafi konumlandırma sistemini de içeren, Kanada’daki bazı eyalet ve şehirleri kapsayan bir model tasarladılar. FRED’e benzer şekilde, iş yeri, ev ve okul gibi hastalığın farklı yayılma dinamikleri gösterebileceği yerleri de modele dahil ettiler. Aşılama ve karantina gibi bazı müdahale stratejileri de modellerinde yer almaktadır.

Yukarıda sayılan modeller ve yazılımlar araştırmacılar için önemli olanaklar sunsalar da, kompleksliklerinden kaynaklanan bazı problemleri de beraberlerinde getirmektedirler. Bazıları kullanıcı arayüzü içermemekte ve Microsoft Visual Studio ve Eclipse gibi programlarla beraber çalışmaktadırlar. Bundan dolayı kodlamaya hakim olmayanlar için kişisel bilgisayarlarına indirmeleri ve kullanmaları epey zordur. Web

arayüzüne sahip bazı programlar ise geliştirenlerin izin verdiği kadar ve internet bağlantısının gücü ölçüsünde kullanılabilir. Son olarakta senaryolar çoğunlukla Batı Avrupa ve Kuzey Amerika kıtasındaki devletlerin demografik yapıları referans alınarak tasarlanmıştır. Bu makalede geliştirilen yazılım, daha sonra açıklanacağı üzere Microsoft Windows tabanlı bütün bilgisayarlarda rahatça kurulup çalıştırılabilir, yüksek ram ve işlemci gerektirmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Basit ve türkçe kullanıcı arayüzüyle her seviyeden bilgisayar kullanıcısının rahatlıkla kullanabileceği ve benzetim girdilerini manipüle edebileceği şekilde dizayn edilmiştir. En önemlisi de, Türkiye’de her şehrin demografik bilgilerini, 2018 TÜİK adrese dayalı kayıt sisteminden temin ederek, kullanıcıların her şehir için olası salgınları modellemeleri ve olası vaka sayılarını hesaplamaları sağlanmıştır.

Ayrıca bu çalışmada, Gaziantep’te yaşanabilecek olası bir H1N1 (Domuz Gribi) virüsü salgınının modellenmesi örnek çalışma olarak sunulmuştur. Kullanıcıların sonuçları nasıl yorumlayacağı ile ilgili bilgi vermek amaçlanmıştır. Grip aşısının ve ilacının optimal şekilde dağıtılması için gelecekte yapılacak çalışmalara da ışık tutacaktır.

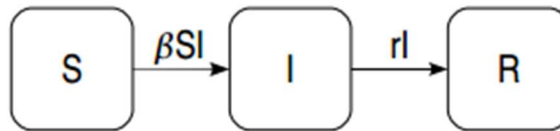
II. BENZETİM MODELİ VE VERİLER

Bu bölüm iki kısımda incelenecektir. Birinci kısımda bölmeli model ile ilgili bilgi verilecektir. İkinci kısımda model için gerekli olan veriler incelenecektir.

A. Model

İlk olarak 1927 yılında Kermack and McKendrick tarafından geliştirilen bölmeli modeller bulaşıcı hastalıkların yayılmasını modelleme de kullanılmaktadır [4]. Her bir bölme, aynı karakteristiklere sahip olan bireyleri içermektedir. Her bir zaman aralığında (dakika, saat, gün, vb.), belirli sayıda kişi başka bir bölmeye hareket eder. Bu modelin temel varsayımı, her bir bölmenin içindeki bireyler birbirleriyle ve farklı bölmelerdeki bireylerle rassal olarak kontağa geçebileceğidir. Gerçek hayatta, bireylerin kontak kurduğu kişi sayısı sınırlıdır ve homojen değildir. Bölmeli modeller bunu gözardı etmesine rağmen, büyük popülasyonların hızlı ve doğru biçimde modellenmesinde hala etkili bir yöntemdir [14][15][16].

Bu çalışmada, en basit bölmeli model olan SIR (Susceptible-Infectious-Recovered) model kullanılmıştır. Parantez içindeki İngilizce kelimeler sırasıyla korunmasız, hasta ve iyileşmiş anlamlarına gelmektedir ve herbiri bir bölmeyi temsil etmektedir. Diğer bir ifadeyle korunmasız bölmesinde henüz hastalığa yakalanmamış kişiler, hasta bölmesinde hasta bireyler ve son olarakta iyileşmiş bölmesinde hastalıktan kurtulmuş bireyler bulunmaktadır. Belirli bir zaman aralığında hasta ve korunmasız bireyler etkileşime geçip, belirli bir oranda birey hasta olmakta ve korunmasız bölmesinden hasta bölmesine geçmektedir. Benzer şekilde iyileşme sürecine bağlı olarak belirli sayıda hasta birey iyileşmiş bölmesine geçmektedir. Şekil 1. süreci temsil etmektedir. Hastalığın bulaşıcılığına ve iyileşme süresine göre β ve r çarpanları değişmektedir.



Şekil 1. SIR bölmeli modeli ve geçiş çarpanları

Hastalığın bulaşması farklı yaş gruplarına göre değişiklik gösterdiği için her şehrin nüfusu, 0-4, 5-19, 20-49, 50-64, 65+ olarak beş farklı yaş grubuna bölünmüştür. Yaş grubu $a \in G$ içindeki her bir birey, belli bir zaman aralığında 3 bölmeden birinde bulunmalıdır. Toplam nüfus sayısına N olarak tanımlanırsa:

$$\sum_{a \in G} N_a = N \quad (1)$$

Başlangıçta sisteme tanımlanan hasta kişiler hariç bütün bireyler korunmasız bölmesine yerleştirilmiştir. Korunmasız bireyler her yaş grubundan belirli sayıda hasta bireyle her gün kondağa geçer ve kontak sayısı ve bulaşma oranına bağlı olarak hasta olurlar. Her yaş grubundaki bireylerin diğer bireylerle günlük kontak sayıları Mossong vd. [17]'nin çalışmalarından Tablo 1'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Yaş grubu a 'daki kişilerin, yaş grubu b 'de bulunan hasta kişilerle kontakta kaynaklanan, günlük yeni hasta sayısı oranı, $\mu_{a,b}$, aşağıdaki gibi formülize edilebilir:

$$\mu_{a,b} = \frac{p_b c_{a,b} I_b}{N_b} \quad (2)$$

p_b , korunmasız bir kişinin b yaş grubundan hasta kişilerle tek bir kontakta hasta olma oranını temsil eder. $c_{a,b}$ Tablo 1 de gösterildiği gibi yaş grupları arasındaki günlük kontak sayısını, I_b ise b yaş grubunda ki toplam hasta kişi sayısını göstermektedir. Bir günün sonunda oluşabilecek a yaş grubunda toplam hasta sayısı oranı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\sum_{b \in G} \mu_{a,b} = \mu_a \quad (3)$$

Aşağıdaki denklemler sırasıyla korunmasız (4), hasta (5) ve iyileşmiş (6) bölmelerindeki kişi sayısının günlük değişimini ve günlük ölüm (7) sayısını vermektedir:

$$\frac{dS_a}{dt} = -\mu_a S_a \quad a \in G \quad (4)$$

$$\frac{dI_a}{dt} = \mu_a S_a - I_a \beta - I_a \rho_a \quad a \in G \quad (5)$$

$$\frac{dR_a}{dt} = I_a \beta \quad a \in G \quad (6)$$

$$\frac{dD_a}{dt} = I_a \rho_a \quad a \in G \quad (7)$$

Günlük iyileşme oranı β ile gösterilmektedir ve 1/iyileşme süresine eşittir. Yaş grubu a 'daki hasta bireylerin günlük ölüm oranları da ρ_a 'dır. Tablo 2'de β ve her yaş grubu için ρ ve p oranları verilmiştir.

Tablo 1. Her yaş grubu için günlük kontak sayıları

	0-4	5-19	20-49	50-64	65+
0-4	1.92	1.30	1.57	0.76	0.39
5-19	0.58	8.72	2.16	1.09	0.85
20-49	0.67	2.28	3.33	2.29	1.10
50-64	0.30	0.91	1.66	2.38	1.69
65+	0.12	0.45	0.94	1.48	1.93

B. Benzetim Ayarları ve Kalibrasyonu

Bölmeli modellerin analitik çözümü olmadığı için yaklaşık çözüm için nümerik simülasyon yöntemi kullanılmıştır. 120 günlük salgın süresi tanımlanmış ve salgının pik zamanı olarak tam ortası seçilmiştir. Hastalığın yayılma hızı 1918 İspanyol gribi değerlerine göre kalibre edilmiştir [18]. Gerçekleşmiş değerlerle kalibrasyondan sonraki değerler Tablo 2'de ilk iki satırda görülebilir. Hemen altında hasta bireylerin günlük ölüm oranları verilmiştir [16]. İyileşme periyodu ve başlangıç hasta sayısı kullanıcının isteğine bağlı olarak Tablo 2.'deki değer aralıklarında seçilebilir.

Tablo 2. Benzetim parametreleri

	0-4	5-19	20-49	50-64	65+
Yayımla Oranları (%)	33.7	37.2	28.7	16.2	11.8
Kalibrasyon (%)	33.8	37.2	26.2	16.7	12.2
Ölüm Oranları	0.0049	0.002	0.0056	0.0038	0.001
İyileşme Periyodu	3-8				
Başlangıç Hasta Sayısı	5-20				

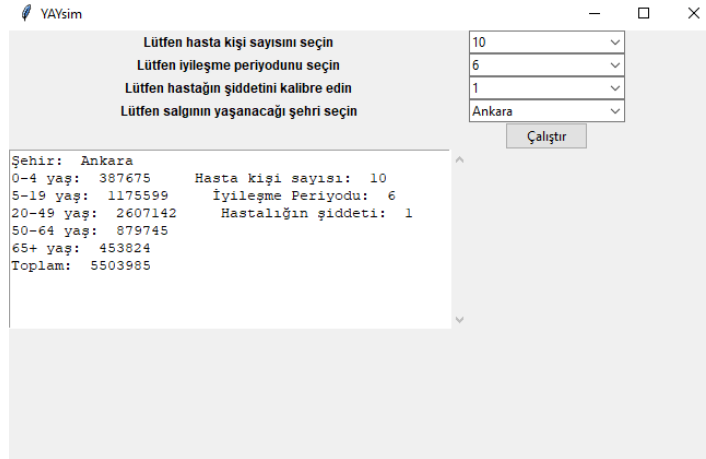
Nüfus bilgileri TÜİK'in 2018 ikamet edilen illere göre nüfus bilgisi kayıtlarında elde edilmiştir.

III. YAYSİM

Bu bölümde geliştirilmiş arayüz ve örnek çalışma ile ilgili bilgiler verilecektir.

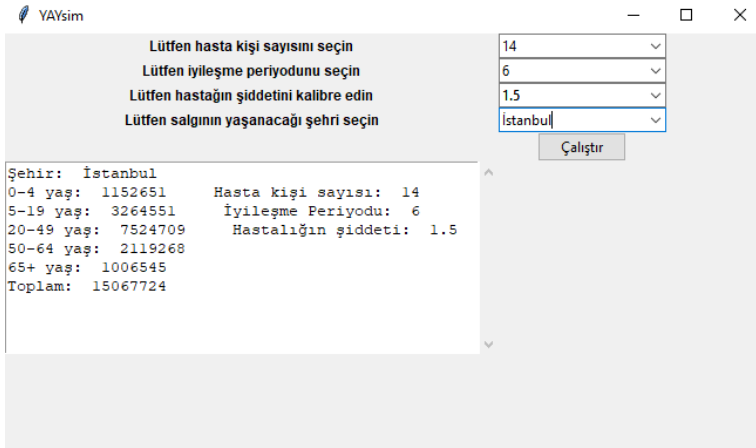
A. YAYSİM Arayüz Bilgileri

Program çalıştırıldıktan sonra Şekil 2.'deki arayüz ekrana gelecektir. En üstteki satır, hastalığın yayılması için başlangıçtaki hasta kişi sayısını tanımlamak için kullanılmaktadır. Hemen altında hasta olan bir kişinin kaç günde iyileşeceği bilgisinin girebileceği sekme bulunmaktadır. Tablo 2.'de bunlar ile ilgili aralıklar verilmiştir. Üçüncü satırda hastalığın kalibrasyonunun yapılabildiği sekme bulunmaktadır. Daha önceden belirtildiği gibi hastalığın şiddeti 1918 İspanyol Gribi değerlerine göre kalibre edilmiştir. Başlangıç hasta kişi sayısı ve iyileşme periyodu değeri değiştirilmezse, bu sekmedeki değer 1 olduğunda benzetimin sonuçları 1918 İspanyol Gribi değerlerine benzer olacaktır. Hastalığın bulaşma şiddeti bu sekme aracılığı ile belli bir sıklarda artırılabilir veya azaltılabilir. Son olarak hastalığın yayılmasını inceleyeceğimiz şehri sekme aracılığı ile belirleyebilir veya ülke genelinde nasıl sonuçlar doğurabileceğini görmek istiyorsak en baştaki "Türkiye" seçeneğini getirebiliriz.



Şekil 2. YAYSİM genel görünümü

Şekil 3.'de değiştirilen parametrelere göre sol altta bulunan bilgi ekranının değişimi gösterilmiştir. Değişiklik yapılan bilgiler anında bilgi ekranında görünmektedir. Farklı bir şehir seçildiğinde, nüfusun farklı yaş gruplarına göre dağılımı Şekil 3.'deki İstanbul örneğinde olduğu gibi değişmektedir. İstenilen parametreler ayarlandıktan sonra "Çalıştır" butonuna basıldığında benzetim çalışmakta ve sonuçlar bilgi ekranının altında sonuç ekranında Şekil 4.'deki gibi görülmektedir. Her parametre değişimi sonrası benzetim çalıştırıldığında sonuç ekranı da yeni gelen bilgiler ışığında güncellenmektedir.



YAYsim

Lütfen hasta kişi sayısını seçin
Lütfen iyileşme periyodunu seçin
Lütfen hastanın şiddetini kalibre edin
Lütfen salgının yaşanacağı şehri seçin

14
6
1.5
İstanbul

Çalıştır

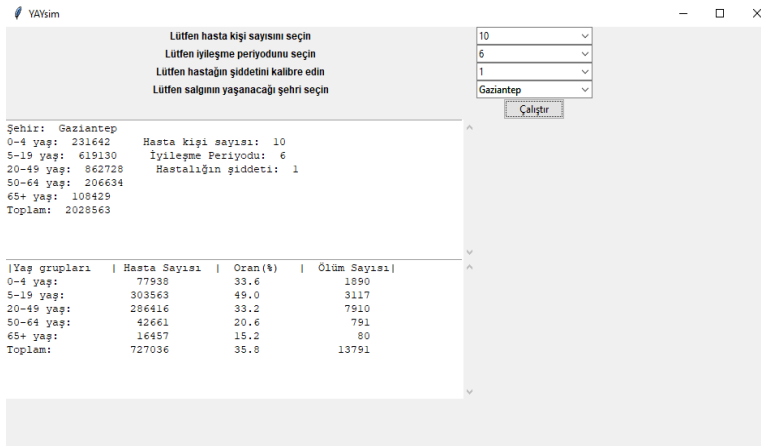
Şehir: İstanbul
0-4 yaş: 1152651 Hasta kişi sayısı: 14
5-19 yaş: 3264551 İyileşme Periyodu: 6
20-49 yaş: 7524709 Hastalığın şiddeti: 1.5
50-64 yaş: 2119268
65+ yaş: 1006545
Toplam: 15067724

Şekil 3. YAYsim bilgi ekranı

Şekillerde görüldüğü gibi YAYsim kullanımı çok basit ve pratik olan bir programdır. İlk açılışta kullanılan bilgisayarın hızına göre değişmekle birlikte saniyeler sürmektedir. Seçenekler ve bilgi ekranı türkçe olarak minimalist bir biçimde tasarlanmıştır. Hastalık parametreleri, literatürdeki diğer çalışmalar baz alınarak belli aralıklarda sınırlandırılmıştır. Bir sonraki bölümde örnek bir uygulama yapıлып sonuçlar değerlendirilecektir.

B. Örnek Çalışma ve Sonuçlar

Yukarıda YAYsim'in nasıl kullanılacağı basit bir şekilde anlatılmıştır. Bu bölümde Gaziantep şehrinde olası bir grip pandemisi sonuçları irdelenecektir. Şekil 4.'deki gibi gerekli hastalık parametreleri girilip, Gaziantep ili seçilip, "Çalıştır" butonuna basıldıktan sonra bilgi ekranının altında sonuçların görüntülediği ekran çıkmaktadır. Burada yaş gruplarına göre kaç kişinin hasta olduğu ve öldüğü görülebilmektedir.



YAYsim

Lütfen hasta kişi sayısını seçin
Lütfen iyileşme periyodunu seçin
Lütfen hastanın şiddetini kalibre edin
Lütfen salgının yaşanacağı şehri seçin

10
6
1
Gaziantep

Çalıştır

Şehir: Gaziantep
0-4 yaş: 231642 Hasta kişi sayısı: 10
5-19 yaş: 619130 İyileşme Periyodu: 6
20-49 yaş: 862728 Hastalığın şiddeti: 1
50-64 yaş: 206634
65+ yaş: 108429
Toplam: 2028563

Yaş grupları	Hasta Sayısı	Oran(%)	Ölüm Sayısı
0-4 yaş:	77938	33.6	1890
5-19 yaş:	303563	49.0	3117
20-49 yaş:	286416	33.2	7910
50-64 yaş:	42861	20.6	791
65+ yaş:	16457	15.2	80
Toplam:	727036	35.8	13791

Şekil 4. YAYsim bilgi ve sonuç ekranı

Gaziantep nüfusunun %35.8'i hastalıktan etkilenmiş ve %0.7'si hayatını kaybetmiştir. Yaş gruplarına göre hastalık oranlarına baktığımızda en çok etkilenen grubun 5-19 yaş aralığında yer alan bireylerden oluştuğunu görmekteyiz. Bu aşamada, karar vericiler okulların bir süre tatil edilmesine ve bu yaş aralığındaki bireylerin bir süre evde kalmasına karar verebilirler. Ölüm sayılarına baktığımızda en çok ölen bireylerin 20-49 yaş aralığında olduğu gözlenmektedir. Ölüm oranlarını azaltmak için bu yaş aralığındaki bireylere aşı ve antiviral ilaç dağıtımı için öncelik verilebilir. Başlangıçtaki hasta kişi sayısı ve iyileşme periyodu sonuçlar üzerinde önemli etkileri olduğundan, ilaç tedavileriyle iyileşme süreci hızlandırılabilir veya havaalanları veya

otograrların daha sıkı denetlenmesiyle başlangıçtaki hasta kişi sayısı azaltılabilir. Örneğin iyileşme periyodu 6 günden 4 güne düşürülebilirse toplam hasta sayısı yüzbinlerden yüzlere, ölüm sayısı ise onlara düşmektedir.

Bununla beraber, hastalığın yayılması sonucunda oluşacak hasta kişi ve ölüm sayılarına göre karar vericiler, sağlık personeli, ilaç, aşı vb. gibi hastalıkla savaşmak için gerekli olacak malzeme ve işgücünü ayarlayabilirler.

IV. SONUÇLAR

Bulaşıcı hastalıklar asırlardır toplumları olumsuz olarak etkilemekte, büyük insan ve para kayıplarına neden olmaktadır. Mevsimsel epidemik veya pandemiklerin etkisini azaltabilmek için karantina, aşılama, antiviral ilaçlar, okul ve işyeri tatilleri gibi önlemler alınabilmekte fakat bu önlemlerin işe yaraması için hastalık dinamiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Endemik veya pandemiğin sonucunda oluşabilecek toplam hasta kişi ve ölüm sayısı, bunların yaş gruplarına göre dağılımı, iyileşme periyodu, hastalık şiddeti, ve başlangıç hasta sayısı gibi parametrelerin etkisini önceden tahmin edebilmek, uygulanacak müdahalelerin etkinliğini de büyük ölçüde artıracaktır. Bu çalışmada, YAYSİM isimli karar destek sistemi geliştirilip, ilgilenen kullanıcıların hizmetine sunulmuştur. YAYSİM, Türkiye genelinde veya herhangi bir ilinde, yukarıda belirtilen hastalık parametrelerine göre meydana gelecek olan bir salgında, nüfusun farklı yaş gruplarına göre nasıl etkileneceğini hasta kişi ve ölüm sayılarına göre tahmin edilmesinde kullanılan bir programdır. En önemli ve ayırıcı özelliği kullanımının basit olması ve Türkiye'deki güncel demografik yapıyı içermesidir. Örnek çalışmada Gaziantep ilinde meydana gelebilecek olası bir H1N1 salgınının sonuçları incelenmiştir. Bu sonuçlara göre Gaziantep nüfusunun %35.8'i hastalıktan etkilenmiş ve %0.7'si hayatını kaybetmiştir. Özellikle hastalığın genç popülasyon üzerinde daha etkili olduğu görülmüş, buna göre okulların tatil edilmesi ve aşılamanın bu yaş grubu bireyler üzerinde yoğunlaştırılması önerilmiştir. Müdahale stratejileri ve alınacak önlemler farklı disiplinlerin çalışmaları bağlı olarak değişebilir. Örnek olarak, bir sağlıkçı açısından hasta ve ölüm sayıları, aşıların ve ilaçların öncelikli olarak hangi yaş gruplarına göre dağıtılmasını kararını vermelerine yardımcı olurken, aynı sayılar taktik ve stratejik seviyede doktor ve yardımcı personel ihtiyaç planlaması, ilaç-aşı-tıbbi malzemeler ihtiyaç tahmin ve üretim planlaması, olası bir karantina durumunda gıda ve su ihtiyaçlarının ve güvenliğin temini gibi afet yönetimi alanına girebilecek kararların verilmesine yardım edebilir.

Programın basitliği bazı ön kabulleri de beraberinde getirmektedir. Benzetim parametreleri deterministiktir. Günlük kontak oranları, ölüm oranları, iyileşme periyodu her kişi için sabit kabul edilmiştir. Gerçek hayatta bu veriler olasılıklıdır. İkinci olarak benzetim bölmeli model kullanılarak tasarlanmıştır. Bölmeli modeller yüksek sayıda insan barındıran popülasyonları hızlıca modellemek için uygun olsada, şebeke tabanlı modeller kadar gerçek durumları yansıtamazlar.

Gelecek çalışmalarda yukarıdaki eksiklikleri giderecek şekilde şebeke tabanlı, gereken parametrelerin olasılıklı olarak modellenilebildiği daha gelişmiş bir karar destek sistemi üzerine çalışmalar yapılabilir. Bunun yanında aşılama, ilaç tedavisi, karantina vb. gibi çeşitli müdahale tekniklerinin de modellerde yer alması düşünülebilir. Bu şekilde müdahale tekniklerinin, salgının yayılışı ve nihai sonuçlarının üzerindeki etkileri de gözlemlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Editorial (2018). How to be ready for the next influenza pandemic. *Lancet Infect. Dis.*, 18(7), 697.
- [2] Hawkey, S. (2019). Overview of ebola virus disease. *WHO*, https://www.who.int/health-topics/ebola/#tab=tab_1, (01/01/2020).
- [3] Özkaya, H. (2016). Fight against contagious diseases during the period of the republic. *Türkiye Aile Hekim. Derg.*, 20(2), 77-84.
- [4] Kermack, W. O. and McKendrick, A. G. (1927). A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics. *Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, 115(772), 700-721.
- [5] Walters, C. E., Meslé, M. M. I. and Hall, I. M. (2018). Modelling the global spread of diseases: A review of

current practice and capability. *Epidemics*, 25, 1–8.

- [6] Prieto, D. M., Das, T. K., Savachkin, A. A., Uribe, A., Izurieta, R., and Malavade, S. (2012). A systematic review to identify areas of enhancements of pandemic simulation models for operational use at provincial and local levels,” *BMC Public Health*, 12(1), 251.
- [7] Chao, D.L., Halloran, M.E., Obenchain, V.J. and Longini Jr, I.M., (2010). FluTE, a publicly available stochastic influenza epidemic simulation model. *PLoS computational biology*, 6(1), 1–8.
- [8] Hladish, T., Melamud, E., Barrera, L.A., Galvani, A. and Meyers, L.A., (2012). EpiFire: An open source C++ library and application for contact network epidemiology. *BMC bioinformatics*, 13(1), 76.
- [9] Liu, S., Poccia, S., Candan, K.S., Chowell, G. and Sapino, M.L., (2016). epiDMS: data management and analytics for decision-making from epidemic spread simulation ensembles. *The Journal of infectious diseases*, 214, 427-432.
- [10] Edlund, S.B., Davis, M.A. and Kaufman, J.H., (2010). The spatiotemporal epidemiological modeler. In *Proceedings of the 1st ACM International Health Informatics Symposium*, November, 817-820.
- [11] Grefenstette, J.J., Brown, S.T., Rosenfeld, R., DePasse, J., Stone, N.T., Cooley, P.C., Wheaton, W.D., Fyshe, A., Galloway, D.D., Sriram, A. and Guclu, H., (2013). FRED (A Framework for Reconstructing Epidemic Dynamics): an open-source software system for modeling infectious diseases and control strategies using census-based populations. *BMC public health*, 13 (1), 940.
- [12] Kuylen, E., Stijven, S., Broeckhove, J. and Willem, L., (2017). Social Contact Patterns in an Individual-based Simulator for the Transmission of Infectious Diseases (Stride). In *ICCS*, January, 2438-2442.
- [13] Ramírez-Ramírez, L.L., Gel, Y.R., Thompson, M., de Villa, E. and McPherson, M., (2013). A new surveillance and spatio-temporal visualization tool SIMID: SIMulation of Infectious Diseases using random networks and GIS. *Computer methods and programs in biomedicine*, 110(3), 455-470.
- [14] Hethcote, H.W., (2000). The mathematics of infectious diseases. *SIAM review*, 42(4), 599-653.
- [15] Zaric, G.S. and Brandeau, M.L., (2001). Resource allocation for epidemic control over short time horizons. *Mathematical Biosciences*, 171(1), 33-58.
- [16] Medlock, J. and Galvani, A.P., (2009). Optimizing influenza vaccine distribution. *Science*, 325(5948), 1705-1708.
- [17] Mossong, J., Hens, N., Jit, M., Beutels, P., Auranen, K., Mikolajczyk, R., Massari, M., Salmaso, S., Tomba, G.S., Wallinga, J. and Heijne, J., (2008). Social contacts and mixing patterns relevant to the spread of infectious diseases. *PLoS medicine*, 5(3).
- [18] Glezen, W.P., (1996). Emerging infections: pandemic influenza. *Epidemiologic reviews*, 18(1), 64-76.

Araştırma Makalesi - Research Article

Arıtılmış Atıksu Uygulamalarının Üç Farklı Mısır (*Zea Mays L.*) Çeşidinin Çimlenme ve Fide Gelişim Özelliklerine Etkisi

Yusuf Murat Kardeş¹, Murat Karaer², Özge Doğanay Erbaş Köse^{3*}, Zeki Mut⁴

Geliş / Received: 28/02/2020

Revize / Revised: 16/03/2020

Kabul / Accepted: 16/03/2020

ÖZ

Artan dünya nüfusu nedeniyle tatlı su bulunabilirliği sınırlı bir kaynak haline gelmektedir. Atık suyun tarımda yeniden kullanılması yetiştirilen ürünler için yararlı olan besinleri içerdiğinden dikkat çekmiştir. Atık su, bitkileri için besin kaynağı olarak kullanılabilir. Ancak, hem çevre hemde bitki açısından toksitesi konusunda çok yönlü araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmada, farklı atık su konsantrasyonlarının (saf su, % 25, % 50, % 75 ve % 100) üç farklı mısır çeşidinin (Kefieros, Kerbanis, Kontigos) çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışma, faktöriyel düzende tesadüf parselleri deneme desenine desenine göre 4 tekrarlı olarak yürütülmüştür. Deneme kontrollü şartlarda 25 °C yürütülmüştür. Çimlenme yüzdesi, fide uzunluğu, kök uzunluğu, fide yaş ve kuru ağırlığı, kök yaş ve kuru ağırlığı incelenmiştir. Çeşitler arasında incelenen tüm özellikler (çimlenme yüzdesi hariç) ve atık su konsantrasyonları arasında çeşitler bakımından istatistiki olarak önemli farklılıklar bulunmuştur. Çalışmada, % 25 atık su konsantrasyonunun çimlenmeyi teşvik ettiği fakat artan konsantrasyonların azalttığı belirlenmiştir. Fide gelişimi üzerine % 75 atık su konsantrasyonunun teşvik edici bir özelliğe sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- Mısır, Atık su, Çimlenme, Fide

¹İletişim: yusuf.murat.kardes@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7144-9612>)

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Bilecik

²İletişim: murat.karaer@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-1920-181X>)

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bilecik

^{3*} Sorumlu yazar iletişim: ozgedoganay.eras@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-0429-3325>)

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Bilecik

⁴İletişim: zeki.mut@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-1465-3630>)

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Bilecik

The Effect of Treated Wastewater Applications on Germination and Seedling Growth in Three Different Corn (*Zea Mays L.*) Cultivar

ABSTRACT

Because of increasing world population, fresh water availability is becoming a finite resource. Re-use wastewater for agriculture has attracted attention as it includes nutrients, which are helpful for growing crops. Wastewater may be used as the nutrient source for the growing crops. But the toxicity of its can still be a reason for worry and research. In this study, the effects of different wastewater concentrations (pure water, 25%, 50%, 75% and 100%) germination and seedling growth of three corn cultivars (Kefiros, Kerbanis, Kontigos) were investigated. The study was carried out as with four replications according to randomized complete block design as a factorial. Trial was founded at 25 °C under controlled conditions. Seed germination, root length, shoot length, root fresh weight and dry weight, shoot fresh weight and dry weight were investigated. Among the cultivars in terms of all traits examined (except for seed germination) and among wastewater concentrations in terms of all properties were found as statistically significant differences. In the study, it was determined that 25% waste water concentration increased seed germination, but increased doses decreased seed germination. It was determined that wastewater up to 75% concentration has an encouraging feature on seedling development.

Keywords- *Corn, waste Water, Germination, Seedling*

I. GİRİŞ

Artan dünya nüfusuyla birlikte suya olan ihtiyaç giderek artmakta ve dünyanın bazı bölgelerinde insan hayatına yönelik bir tehdit oluşturacak seviyelere ulaşabilmektedir. Dünyanın dört bir yanındaki bilim insanları, su tasarrufu için yeni yollar üzerinde çalışmaktadır. Özellikle sulama ve diğer amaçlar için, kentsel atık suyun tekrar kullanılması yoluyla suyun geri dönüşümü sağlanabilmektedir [1]. Atık suyun bertarafı özellikle büyük şehirlerde ve bertaraf için sınırlı alana sahip olan belediyelerde karşılaşılan büyük bir problemdir. Çevre sağlığı ve su kirliliğinin öneminin daha fazla anlaşılmasından dolayı atık suların güvenli ve faydalı bir şekilde yok edilmesi gerektiği konusunda farkındalıkta artmıştır. Atık su kullanımının sulamada çok sayıda faydaları olmasına rağmen bu suların yeniden kullanılmasının uygun olmayan şekillerde yapılması ciddi çevresel ve sağlık sorunları yaratabileceğinden [2], kısa ve uzun vadeli çevresel risklerin önüne geçebilmek için önlemler alınmalıdır. Atık su, sulama için uygun şekilde kullanıldığında, çevresel olarak uygun bir bertaraf uygulaması olarak kabul edilmektedir [3]. Çevrenin ve halk sağlığının korunması; atık su arıtımı, toprak ve bitki seçimi ile uygulama yöntemini içeren entegre yönetim uygulamaları ile sağlanabilir [4]. Bu entegre uygulamaları içeren bir atık su yönetimi ile atık suyun doğrudan yeraltı suyuna karışması önlenir ve ekosistemin kirlenmesini göreceli olarak azaltılabilir [4]. Atık suların çoğu, toprak verimliliğini ve mahsul üretimini artıran değerli besinler içermektedir [5, 6]. Bu suların arıtımı tüm dünyada, özellikle tropikal ve subtropikal ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır [7, 8]. Arıtılmış atık suların tarım da yeniden kullanımının sürdürülebilir tarımı teşvik etmek, su kaynaklarını korumak ve çevresel kirliliği önlemek gibi birçok faydası vardır.

Mısır (*Zea mays L.*), dünya da tahıllar içinde 197 milyon ha ekim alanı ile buğdaydan sonra ikinci sırada yer alırken, 1 milyar ton üretimi ile birinci sırada yer almaktadır [9]. Kültür bitkileri içerisinde dünyada en fazla üretimi yapılan mısır; insan gıdası, hayvan beslenmesi ve endüstride kullanılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde üretilen mısırın büyük çoğunluğu hayvan yemi olarak kullanılırken, az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde ise insan gıdası olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda hem artan üretim hem de "Biyoyakıt" gibi ürünlerin artan kullanımları ile birlikte mısırın önemi daha da artmıştır [10]. Mısır bitkisi tarla bitkileri içerisinde suyu en ekonomik kullanan bitkidir. Ancak toplam transpirasyon yüzeyi, oluşturduğu kuru madde miktarı ve yetiştiği dönemdeki yüksek sıcaklık nedeniyle, ihtiyaç duyduğu su miktarı fazladır. Ayrıca, mısır toraktan yüksek miktarda besin maddesi almaktadır. Su ve besin maddeleri uygun miktarda olduğunda yüksek tane verimi elde edilmektedir [11]. Arıtılmış atık suların içerdiği besin maddelerinden dolayı uygun seyreltme ve yönetim ile tarımda kullanılmaları gübre tasarrufu ve çevre kirliliğinde azaltma sağlayabilir. Bu çalışmada, 5 farklı konsantrasyonda arıtılmış atık suyun 3 farklı mısır çeşidinde, çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkileri incelenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Arıtılmış Atık Su

Çalışmada, Bilecik ilinin Söğüt ilçesinde bulunan arıtma tesisinden alınan evsel arıtılmış atık su kullanılmıştır. Arıtılmış atık suyun kimyasal analiz değerleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan arıtılmış atık suyun kimyasal analiz sonuçları*

Arıtılmış Atık Su Parametreleri	Arıtılmış Atık Su Değerleri
TAKM (mg/l)	37.5
KOİ (mg/l)	83.7
BOİ (mg/l)	25.2
pH (mg/l)	7.6
Toplam Azot (mg/l)	10.0
Toplam Fosfor (mg/l)	0.9

*Söğüt Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisi, TAKM: Toplam Askıda Katı Madde, KOİ: Kimyasal Oksijen İhtiyacı, BOİ: Biyolojik Oksijen İhtiyacı

Arıtma tesisinden plastik kaplara alınan atık sular kullanılana kadar +4 °C de saklanmıştır. Çalışmada kontrol (saf su) ile birlikte % 25, % 50, % 75 ve % 100 atık su konsantrasyonu olmak üzere 5 farklı doz kullanılmıştır.

B. Çimlendirme Çalışmaları

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Uygulama ve Araştırma alanında bulunan hızlı ıslah ve iklim odasında kurulan denemede Kerbanis, Kefieros ve Kontigos olmak üzere üç farklı mısır çeşidi kullanılmıştır. Bu çeşitlere kontrol olarak saf su ile 4 farklı konsantrasyonda (% 25, % 50, % 75, %100) arıtılmış atık su uygulanmıştır. Denemede, % 25, % 50 ve % 75 arıtılmış atık su konsantrasyonları saf su le seyreltilerek elde edilmiştir. Deneme kontrollü şartlarda faktöriyel deneme desenine göre dört tekrarlı olarak kurulmuştur. Çimlendirme için plastik çimlendirme kapları kullanılmıştır. Denemede kullanılacak tohumlar % 3'lük sodyumhipoklorit çözeltisinde 10 dk bekletilip, musluk suyu ile birkaç defa yıkandıktan sonra saf suda durularak steril edilmiştir. Yüzey sterilizasyonu yapılan tohumlar kurutma kağıtları üzerine alınıp kurutulmuştur. Daha sonra içerisinde iki adet filtre kağıdı bulunan çimlendirme kaplarına 20'şer tohum konulmuştur. Tohumların üzerine farklı konsantrasyonları içeren arıtılmış atık suların 20 ml eklenmiştir. Bu işlemlerden sonra çimlendirme kapları 25°C'ye ayarlanmış bitki büyütme odasında karanlık ortamda 10 gün boyunca bekletilmiştir. Çim kını uzunluğu 2 mm'yi geçen tohumlar çimlenmiş olarak kabul edilmiş ve her gün sayımları yapılmıştır. Çimlenmenin 10. gününde her bir çimlendirme kabından 10 sürgün örnek olarak alınmış ve bu örneklerde kökçük ve fide uzunlukları ölçülmüştür [12]. Yine aynı örnekler kökçük ve fide kuru ağırlıklarının belirlenmesi için ayrılmış ve 70 °C'de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulup tartılmıştır [13]. Elde edilen verilerin istatistikî analizleri MSTAT-C paket programı kullanılarak yapılmıştır. Farklılık gruplandırması Duncan testine göre yapılmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada 5 farklı arıtılmış atık su konsantrasyonunun üç mısır çeşidinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkileri incelenmiştir. Çimlenme ve fide gelişimi üzerine çeşitlerin ve arıtılmış atık su konsantrasyonlarının etkilerini içeren ortalamalar Tablo 2' de verilmiştir. Denemede, çimlenme yüzdesi ve kök uzunluğu hariç incelenen özellikler bakımından çeşitler arasında, incelenen bütün özellikler bakımından ise konsantrasyonlar arasında istatistikî olarak önemli farklar belirlenmiştir. Çeşit × konsantrasyon interaksiyonu kök uzunluğu, sürgün yaş ağırlığı ve kök kuru ağırlığına istatistikî olarak önemli etki etmiştir.

En yüksek çimlenme yüzdesi % 94.4 ile % 25 arıtılmış atık su konsantrasyonundan elde edilmiş, % 25 atık su konsantrasyonundan sonra arıtılmış atık su konsantrasyonları artıkça çimlenme yüzdesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Çeşitlerin çimlenme yüzdeleri arasında istatistikî olarak fark görülmemiştir. Çeşit × konsantrasyon interaksiyonu incelendiğinde çimlenme yüzdesi % 62.0 ile 95.9 arasında değişmiş olup, en yüksek çimlenme yüzdesi Kerbanis çeşidinin % 25 atık su uygulamasından, en düşük ise Kefieros çeşidinin % 100 atık su konsantrasyonundan elde edilmiştir. Tekstil atık suyunun ve yüksek endüstriyel atık suyun tohum çimlenmesine etkisi üzerine yapılan çalışmalarda yüksek konsantrasyonların tohum çimlenmesini olumsuz etkilerken düşük konsantrasyonların teşvik ettiği tespit edilmiştir [14, 15].

Denemede sürgün uzunluğu 8.9 (Kerbanis) ile 14.6 cm (Kefieroz) arasında değişmiştir. En yüksek sürgün uzunluğu 12.8 cm ile % 50 arıtılmış atık su konsantrasyonundan, en düşük sürgün uzunluğu ise 9.4 cm ile kontrol dozundan elde edilmiştir. Çeşit × konsantrasyon interaksiyonuna göre sürgün uzunlukları 7.3 cm ile 16.4 cm arasında değişmiş olup, en düşük sürgün uzunluğu kerbanis çeşidinin kontrol dozundan, en yüksek ise kefieros çeşidinin % 50 ve % 75 dozundan elde edilmiştir. Kök uzunluğu 13.5 (Kontigos) ile 14.4 cm (kerbanis) arasında değişmiştir. Kök uzunluğu en düşük 10.4 cm ile kontrol, en yüksek 15.7 cm ile % 75 arıtılmış atık su dozundan elde edilmiştir. Çeşit × konsantrasyon interaksiyonuna göre en yüksek kök uzunluğu Kontigos çeşidinin % 50 konsantrasyonundan 17.6 cm ile elde edilirken, en düşük kök uzunluğu ise 4.9 cm ile yine Kontigos çeşidinin Kontrol uygulamasından elde edilmiştir.

Sürgün yaş ve kuru ağırlığı en yüksek Kontigos çeşidinde elde edilirken, en düşük Kerbanis çeşidinde elde edilmiştir. Sürgün yaş ve kuru ağırlıkları % 75 arıtılmış atık su konsantrasyonuna kadar artış göstermiş ve sırasıyla en yüksek 234.1 mg bitki⁻¹ ve 34.3 mg bitki⁻¹ olarak belirlenmiştir. En düşük sürgün yaş ve kuru

ağırlıkları ise % 100 artılmış atık su konsantrasyonunda sırasıyla 148.6 mg bitki⁻¹ ve 27.7 mg bitki⁻¹ olarak belirlenmiştir. Çeşit × konsantrasyon interaksyonuna göre sürgün yaş ağırlığı en yüksek 257.0 mg bitki⁻¹ ile Kontigos çeşidinin % 75 konsantrasyonundan, en düşük ise 117.3 mg bitki⁻¹ ile Kontigos çeşidinin % 100 konsantrasyonundan elde edilmiştir. Sürgün kuru ağırlıkları 21.3 ile 38.3 mg bitki⁻¹ arasında değişmiştir. En düşük sürgün kuru ağırlığı Kontrol uygulamasında Kerbanis çeşidinden (21.3 mg bitki⁻¹), en yüksek ise % 75 atık su konsantrasyonunda Kontigos çeşidinden (40.7 mg bitki⁻¹) elde edilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan mısır çeşitlerinin ve dozlarının ortalama değerleri ⁺

	ÇY	SU	KU	SYA	SKA	KYA	KKA
Çeşitler							
Kefieros	75.2	14.6 a	13.8	197.7 b	32.7 a	117.5 c	31.0 b
Kerbanis	82.5	8.9 c	14.4	169.1 c	25.9 b	188.9 a	44.4 a
Kontigos	78.4	11.4 b	13.5	219.5 a	35.9 a	159.1 b	42.4 a
Konsantrasyonlar							
Kontrol	91.7 b	9.4 c	10.4 d	169.1 b	28.4 c	135.3 b	36.2 b
%25	94.4 a	12.1 b	14.5 b	209.9 a	33.1 b	165.6 a	39.8 a
%50	73.9 c	12.5 ab	15.5 ab	215.6 a	33.9 b	176.2 a	42.6 a
%75	68.3 cd	12.8 a	15.7 a	234.1 a	34.3 a	167.3 a	41.3 a
%100	65.0 d	11.5 c	13.4 c	148.6 b	27.7 d	131.3 b	36.4 b

ÇY: Çimlenme Yüzdesi (%), SU: Sürgün Uzunluğu (cm), KU: Kök uzunluğu (cm), SYA: Sürgün Yaş Ağırlığı (mg bitki⁻¹), SKA: Sürgün Kuru Ağırlığı (mg bitki⁻¹), KYA: Kök Yaş Ağırlığı (mg bitki⁻¹), KKA: Kök Kuru Ağırlığı (mg bitki⁻¹), + Her sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki % 1 önem düzeyinde fark yoktur.

Kök yaş ağırlığı 117.5 (Kefieros) ile 189.7 mg bitki⁻¹ (Kerbanis), kök kuru ağırlığı 31.0 (Kefieros) ile 44.4 mg bitki⁻¹ (Kerbanis) arasında değişmiştir. Kök yaş ve kuru ağırlıkları % 50 artılmış atık su konsantrasyonuna kadar artmış daha sonra azalmıştır. En yüksek kök yaş ve kuru ağırlığı sırasıyla 176.2 mg bitki⁻¹ ve 42.6 mg bitki⁻¹ ile % 50 atık su konsantrasyonunda belirlenmiştir. En düşük kök yaş ağırlığı 131.3 mg bitki⁻¹ ile % 100 atık su konsantrasyonundan, en düşük kök kuru ağırlığı ise 36.2 mg bitki⁻¹ ile kontrol uygulamasından elde edilmiştir. Çeşit × konsantrasyon interaksyonuna göre kök yaş ağırlıkları en düşük 100.3 mg bitki⁻¹ ile Kefieros çeşidinde % 100 konsantrasyonda, en yüksek 217.0 mg bitki⁻¹ ile Kerbanis çeşidinde % 50 dozunda belirlenmiştir. Kök kuru ağırlığı en düşük 28.3 mg bitki⁻¹ Kefieros çeşidinden % 100 artılmış atık su konsantrasyonunda, en yüksek ise 48.7 mg bitki⁻¹ ile Kerbanis çeşidinin % 50 atık su konsantrasyonunda elde edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Mısır çeşitlerinde atık su uygulamalarının ortalama çimlenme ve fide büyüme özellikleri

Çeşitler	Konsantrasyonlar	ÇY	SU	KU	SYA	SKA	KYA	KKA
Kefieros	Kontrol	90.8	12.2	13.6 cd	154.7 d	30.0	111.0	30.7 ef
	25%	92.6	15.6	14.3 bcd	218.3 bc	34.3	132.3	33.7 def
	50%	67.4	16.4	14.6 bcd	219.3 bc	33.7	122.7	31.7 ef
	75%	63.1	16.4	16.1 ab	231.7 abc	36.3	121.0	30.7 ef
	100%	62.0	12.5	10.5 e	164.7 d	29.3	100.3	28.3 f
Kerbanis	Kontrol	91.9	7.3	12.8 d	121.7 e	21.3	146.7	42.7 abc
	25%	95.9	8.6	14.8 bcd	164.7 d	27.0	186.7	43.3 abc
	50%	78.5	9.3	14.9 bcd	181.7 d	27.3	217.0	48.7 a
	75%	76.9	10.8	15.6 abc	213.7 c	28.3	208.7	45.0 ab
	100%	69.3	8.5	14.1 bcd	163.7 d	25.3	185.3	42.3 abc
Kontigos	Kontrol	92.4	8.6	4.9 f	231.0 abc	34.0	148.3	35.3 cde
	25%	94.8	11.9	14.4 bcd	246.7 ab	38.0	177.7	42.3 abc
	50%	75.7	12.6	17.6 a	245.7 ab	40.7	189.0	47.3 a
	75%	65.0	10.3	15.7 abc	257.0 a	38.3	172.3	48.3 a
	100%	63.9	13.4	14.7 bcd	117.3 e	28.3	108.3	38.7 bcd

+ Her sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki % 1 önem düzeyinde fark yoktur.

Kurak ve yarı kurak bölgelerde, kaliteli su kaynakları gittikçe azalmakta ve kentsel su temini için öncelikli olarak görülmektedir. Bu nedenle tarım alanlarının artırılmış atık su ile sulanması son yıllarda üzerinde durulan önemli konulardan biri olmuştur [16, 17]. Ekonomik ve etkin olarak kullanılabilir su kaynaklarından biri kentsel arıtılmış atık sulardır [18]. Sulama suyu içme suyuyla kıyaslandığında biraz daha düşük bir kalite sınıfında olmasında bir sakınca yoktur. Atık suyun tarım için yeniden kullanılmasının atık su miktarını azaltmak, gübre olarak besin geri kazanımı ve mahsul üretimini artırmak gibi çeşitli avantajları vardır. Arıtılmış atık suyun sulama için tekrar kullanılması, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde su kıtlığının önlenmesi için dikkate alınması gereken bir konudur [19]. Atık su, bitki büyümesini iyileştirebilecek yüksek besin elementi değerine sahiptir [20].

Yapılan çalışmalarda nohut, mercimek ve bezelye’de kök ve sürgün uzunluğunun, buğday ve çeltikte sürgün uzunluğunun, domateste kök uzunluğunun, mısırdaki sürgün ve kök uzunluğunun belirli atık su konsantrasyonuna kadar arttığını, daha yüksek konsantrasyonlarda azaldığını bildirmişlerdir [14, 21, 22, 23]. Bu düşüşün yüksek konsantrasyonda atık suyun toksisitesinin olumsuz etkisinin daha fazla olmasından kaynaklanabileceği bildirilmiştir [24, 25].

Barbunya tohumlarının çimlenmesi üzerine yapılan bir çalışmada, atık suyun %50 konsantrasyonuna kadar çimlenme üzerine bir etki göstermediği, fakat % 75 ve % 100 atık su konsantrasyonlarında çimlenmenin olumsuz etkilendiği görülmüştür [26]. Yem bitkileri üzerine yapılan araştırmalarda, atık su ile iki yıl boyunca sulama sonucu arpa biyokütlesinin arttığı gözlemlenmiştir [27]. Tüm büyüme aşamalarında atık su ile sulama işleminin en iyi biyolojik mısır veriminin elde edilmesine neden olduğunu bildirmiştir [28]. Fasulye çeşitlerinde çimlenme ve fide gelişimi üzerine yapılan çalışmada, arıtılmış atık suyun % 75 konsantrasyonuna kadar teşvik edici bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır [29].

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, arıtılmış evsel atık suyun mısır çeşitlerinde çimlenme yüzdesi üzerine % 25 arıtılmış atık su konsantrasyonuna, fide gelişimi üzerine % 75 arıtılmış atık su konsantrasyonuna kadar teşvik edici bir etki gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bunun atık su içinde mevcut olan besin elementlerinin varlığı olabileceği düşünülmektedir. Sulamada arıtılmış atık su kullanımı ürünün büyümesini arttırırken, kimyasal gübre maliyetinde tasarruf ve yeraltı suyuna yönelik kirlilik risklerinde azalma sağlayacağı düşünülmektedir. Fakat arıtılmış atık suların sulama amacıyla kullanılmadan önce seyreltilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Srivastava, R.K. (1991). Effect of paper mill effluent on seed germination and early growth performance of radish and onion. *J. Ecotoxicol. Environ. Monit.*, 1: 13-18.
- [2] Angelakis, A. N., Do Monte, M. M., Bontoux, L., & Asano, T. (1999). The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines. *Water research*, 33 (10), 2201-2217.
- [3] Papadopoulos, I. (1995). Wastewater Management for Agriculture Protection in the Near East Region; FAO, Regional Office for the Near East: Cairo, Egypt, Tech. Bull. pp. 56-58.
- [4] Gori, R., Ferrini, F., Nicese, F.P., & Lubello C (2000). Effect of reclaimed wastewater on the growth and nutrient content of three landscape shrubs. *J. Environ. Hortic.*, 18(2), 108-114.
- [5] Mohammad, M. J., & Athamneh, B. M. (2004). Changes in soil fertility and plant uptake of nutrients and heavy metals in response to sewage sludge application to calcareous soils. *Journal of Agronomy*, 3(3), 229-236.
- [6] Ahmad, A., Inam, A., Ahmad, I., Hyat, S., & Azam, Z.M. (2003). Response of sugarcane to treated wastewater of oil refinery. *J. Environ. Biol.* 24(2), 141-146.
- [7] Khan, M. A., Shaukat, S. S., & Khan, M. A. (2008). Economic benefits from irrigation of maize with treated effluent of waste stabilization ponds. *Pak. J. Bot*, 40(3), 1091-1098.

- [8] Khan, M. A., Shaukat, S. S., Hany, O., & Jabeen, S. (2010). Irrigation of sorghum crop with waste stabilization pond effluent: growth and yield responses. *Pak. J. Bot.*, 42(3), 1665-1674.
- [9] Food Agriculture Organization. (2019). Statistical Databases, <http://faostat.fao.org>, (erişim tarihi: 20.02.2020).
- [10] Taşdan K. (2016). T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, Mısır Durum / Tahmin (2016 / 2017) Yayın No: 280, ISBN: 978- 605-9175-67-8.
- [11] Kaplan, M., Karaman, K., Kardes, Y. M., & Kale, H. (2019). Phytic acid content and starch properties of maize (*Zea mays* L.): Effects of irrigation process and nitrogen fertilizer. *Food chemistry*, 283, 375-380.
- [12] Daud, M.K., Hassan, S., Azizullah, A., Jamil, M., Rehan, N., Irum, R., Qaiser, MK., & Zhu, SJ (2016). Physiological, biochemical, and genotoxic effects of wastewater on maize seedlings. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(2), 563-571.
- [13] Atak, M., Kaya, M. D., Kaya, G., Çikili, Y., & Çiftçi, C. Y. (2006). Effects of NaCl on the germination, seedling growth and water uptake of triticale. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(1), 39-47.
- [14] Khan, M. G., Daniel, G., Konjit, M., Thomas, A., Eyasu, S. S., & Awoke, G. (2011). Impact of textile waste water on seed germination and some physiological parameters in pea (*Pisum sativum* L.), Lentil (*Lens esculentum* L.) and gram (*Cicer arietinum* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 10(4), 269.
- [15] Nagda, G. K., Diwan, A. M., & Ghole, V. S. (2006). Seed germination bioassays to assess toxicity of molasses fermentation based bulk drug industry effluent. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 5(6), 1598-1603.
- [16] Food Agriculture Organization. (2013). Statistical Databases, <http://faostat.fao.org>, (erişim tarihi: 20.01.2020).
- [17] Jalali, M., Merikhpour, H., Kaledhonkar, M. J., & Van Der Zee, S. E. A. T. M. (2008). Effects of wastewater irrigation on soil sodicity and nutrient leaching in calcareous soils. *Agricultural water management*, 95(2), 143-153.
- [18] Feizi, M., & Rastghalam, Z. (2012). The effect of treated wastewater irrigation on accumulation of heavy metals in selected plants. In The 1 st International and The 4 th National Congress on Recycling of Organic Waste in Agriculture, April (pp. 26-27).
- [19] Al-Jasser, A. O. (2011). Saudi wastewater reuse standards for agricultural irrigation: Riyadh treatment plants effluent compliance. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 23(1), 1-8.
- [20] Kiziloglu, F., Turan, M., Sahin, U., Angin, I., Anapali, O., & Okuroglu, M. (2007). Effects of wastewater irrigation on soil and cabbage plant (brassica oleracea var. capitata cv. yalova 1) chemical properties. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(1), 166-172.
- [21] Dash, A.K. (2012). Impact of domestic waste water on seed germination and physiological parameters of rice and wheat. *Int. J. Res. Rev. Appl. Sci.* 12: 280-286
- [22] Daifi, H., Alemad, A., Khadmaoui, A., El hadi, M., El kharrim, K., & Belghyti, D. (2015). Effect of purified industrial wastewater on the growth of tomato plant (*Lycopersicon esculentum*). *Int. J. Pure App. Biosci.* 3 (4), 57-64
- [23] Daud, M.K., Hassan, S., Azizullah, A., Jamil, M., Rehan, N., Irum, R., Qaiser, MK., & Zhu, S.J. (2016). Physiological, biochemical, and genotoxic effects of wastewater on maize seedlings. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(2), 563-571.

- [24] Ramana, S., Biswas, A.K., Kundu, S., Saha, J.K., Yadav, R.B.R. (2002). Effect of distillery effluent on seed germination in some vegetable crops. *Biores. Technol.*, 82, 273-275.
- [25] Yousaf, I., Ali, S.M., & Yasmin, A. (2010). Germination and early growth response of Glycine max varieties in textile and paper industry effluents. *Pak. J. Bot.* 42: 3857-3863.
- [26] Mohammad A, Khan AU (1985). Effect of textile factory effluent on soil and crop plants. *Environ. Pollun. (Series A)* 37, 131-148.
- [27] Munir, J., Rusan, M., Hinnawi, S., & Rusan, L. (2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination*, 215, 143-152.
- [28] Alizadeh, A., Bazari, M.E., Velayati, S., Hashemina, M., & Yaghmaie, A. (2001). Irrigation of corn with wastewater. In: Ragab G, Pearce J, Chakgkim S, Nairizi A, Hamdy (Eds.), ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. Seoul, Korea, pp. 147-154.
- [29] Kardeş, Y. M., Mut, Z., Gültaş, H. T., Erbaş Köse, Ö. D., & Karaer, M. (2019). Effect of Treated Wastewater on Germination and Seedling Growth of Two Different Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivar. III. International Eurasian Agriculture and Natural Sciences Congress, 17-20 October, s. 505-511, Antalya.

Araştırma Makalesi / Research Article

Bilecik Doğal Florasından Toplanan *Bituminaria bituminosa* (L.) C.H. Stirtion Genotiplerinin Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi

Hanife MUT¹, Erdem GÜLÜMSER^{2*}, Medine ÇOPUR DOĞRUSÖZ³, Uğur BAŞARAN⁴

Geliş / Received: 10/03/2020

Revize / Revised: 22/04/2020

Kabul / Accepted: 26/04/2020

ÖZ

Türkiye’de 2019 verilerine göre 19 milyon büyükbaş hayvan birimi için gerekli olan kaliteli kaba yem miktarı 86 milyon ton olup, kaba yem açığı ise 55 milyon tondur. Diğer taraftan, Türkiye çok zengin bir flora sahiptir ve 12 476 (4.080 endemik) bitki türünü barındırmaktadır. Ancak, bu sayının 2030 yılında % 34-42 düzeyinde azalacağı tahmin edilmektedir. Doğal florada bulunan bitkilerin korunması adına tanımlanmaları ve kültüre alınma olanaklarının tespiti de büyük önem taşımaktadır. Bu araştırma, Bilecik ili doğal florasından toplanan *Bituminaria bituminosa* (L.) C.H. Stirtion’un bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Bitkiler çiçeklenme döneminde ve 10 farklı lokasyondan toplanmıştır. Toplanan bitkilerde ham protein oranı, (HP), asit deterjanda çözünen lif (ADF), nötr deterjanda çözünen lif (NDF), potasyum (K), fosfor (P), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), sindirilebilir kuru madde (SKM), kuru madde tüketimi (KMT), toplam sindirilebilir besin (TSB), nispi yem değeri (NYD) ve nispi yem kalitesi (NYK) değerleri incelenmiştir. Genotiplerin HP, NYD, NYK ve K değerleri sırasıyla % 21.05-13.65, 139.48-95.79, 138.87-84.58 ve % 3.30-2.07 arasında değişmiştir. Sonuç olarak, Bilecik ili doğal florasından toplanan *Bituminaria bituminosa* genotiplerinin incelenen tüm kalite özellikleri açısından, kaba yem olarak hayvan ihtiyaçlarını karşılayacak düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Bituminaria bituminosa*, Genotip, Yem kalitesi, Doğal flora.

¹İletişim: hanife.mut@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-5814-5275>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Gülümbe Kampüsü, Merkez, Bilecik

^{2*}Sorumlu yazar iletişimi: erdem.gulumser@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-6291-3831>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Gülümbe Kampüsü, Merkez, Bilecik

³İletişim: medine.copur@yobu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9159-1699>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Yozgat Bozok Üniversitesi, Erdoğan Akdağ Kampüsü, Merkez, Yozgat

⁴İletişim: ugur.basaran@yobu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-6644-5892>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Yozgat Bozok Üniversitesi, Erdoğan Akdağ Kampüsü, Merkez, Yozgat

Determination on Some Quality Traits of *Bituminaria bituminosa* (L.) C.H. Stirton Genotypes Collected from Natural Flora in Bilecik

ABSTRACT

According to the 2019 data in Turkey, while the amount of roughage needed for 19 million livestock units is 86 million tons, the forage deficit is 55 million tons. On the other hand, Turkey has a very rich flora and 12 476 (4.080 endemic) contains plant species. But, it's estimated that this number will decrease in the level of 34-42% in the 2030 year. In order to protect the plants in the natural flora, it is of great importance to characterize of these plants and investigate the possibilities for cultivating. The aim of the study was to determine some quality traits of *Bituminaria bituminosa* (L.) C.H. Stirton collected from ten different locations in the natural flora of Bilecik province. Plants were collected at the flowering stage and investigated for crude protein ratio (CP), acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), potassium (K), phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), digestible dry matter (DDM), dry matter intake (DMI), total digestible nutrients (TDN), relative feed value (RFV) and relative feed quality (RFQ) values. CP, RFV, RFQ and K values of genotypes ranged between 21.05-13.65%, 139.48-95.79, 138.87-84.58 and 3.30-2.07%, respectively. As a result, it has been determined that *Bituminaria bituminosa* genotypes collected from the natural flora of Bilecik province have been sufficient for animal feeding as roughage in terms of all the quality traits.

Keywords- *Bituminaria bituminosa*, Genotype, Forage quality, Natural flora.

I. GİRİŞ

Türkiye hayvansal ürünlerin üretiminde, veriminde ve doğal olarak tüketiminde halen istenilen seviyeye gelememiştir. Bunun en önemli nedenlerinden bir tanesi yemin ucuz ve kolay temin edilememesidir. Türkiye’de yerel üretim miktarları dikkate alındığında yüksek düzeyde kesif ve kaba yem açığı bulunmaktadır. Bu sorunun çözülmesi için, önemli kaba yem kaynaklarından biri olan çayır-meraların bir an önce ıslah edilmesi ve uygun şartlarda kullanılması gereklidir. Diğer taraftan tarla tarımı içerisinde yetiştirilen yem bitkileri üretimi ise oldukça azdır. Türkiye’de 2019 verilerine göre 19 milyon büyükbaş hayvan birimi için gerekli olan kaliteli kaba yem miktarı 86 milyon ton civarındadır. Mevcut üretim ise bu miktarın sadece % 35.7’lik kısmını karşılayabilmektedir. Dolayısıyla ülkede 55 milyon ton kadar kaba yem açığı bulunmaktadır [1].

Bir ülkenin sahip olduğu biyolojik çeşitliliğin yaşamsal ölçüde önemli olduğu gerçeği bugün tüm dünya tarafından kabul edilen bir olgudur. Türkiye bu bakımdan kıskanılacak bir zenginliğe sahiptir [2]. Nitekim sahip olduğu 78 milyon ha alanda 12.476 (4.080’i endemik) bitki türü barındırmaktadır. Ancak artan dünya nüfusu ile birlikte yapılaşma, sanayileşme ve iklim değişikliği gibi etmenler bu türler üzerine olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu konu üzerinde hazırlanan senaryolar Türkiye’de 2000 yılında % 45 düzeyinde olan bitkisel genetik potansiyelin, 2030 yılında % 34–42 düzeylere kadar düşebileceğini göstermektedir [3].

Baklagiller familyasında yer alan *Bituminaria bituminosa* (L.) C.H. Stirtion çok yıllık bir türdür. Anavatanı Akdeniz olan bitki Türkiye, Güney Avrupa, Kırım, Batı Suriye, Kıbrıs, Kafkasya, İsrail, Kuzey Afrika’da ve Portekiz, İspanya gibi ülkelerin doğal vejetasyonunda da geniş bir yayılım göstermektedir. Halk arasında katran yoncası, demir otu, katranlı yaban üçgülü gibi isimlerle de bilinen bitkinin tarımı sadece Kanarya Adaları ve Fas’ta yapılmaktadır. Ülkemizde tarımı yapılmayan bitki, Adana, Antalya, Çanakkale, Hatay, İstanbul, İzmir, Muğla, Samsun, Sinop, Tekirdağ, Trabzon, Yozgat ve Zonguldak doğal florasında yetişmektedir. Genel olarak açık yerlerde, yol kenarlarında, üst toprak tabakası kaybolmuş alanlarda, erozyona açık yamaçlarda, ağaçlık ve ormanlık alanlarda ve 4.7 ile 8.5 arasındaki pH’da yetişebilmektedir [4].

Bituminaria bituminosa’nın *Medicago arborea*’dan daha fazla protein ve sindirilebilir enerji içerdiği, çalı formundaki bir baklagil olan *Chamaecytisus palmensis* ile benzer kimyasal içeriğe sahip olduğu belirlenmiştir. [5]. Bitki üzerinde yapılan çalışmalarda; ham protein, ADF ve NDF oranları sırasıyla % 20.4-10.3, % 41.9-23.8 ve % 56.3-38.0 arasında değişmiştir. Bilecik ilinin doğal vejetasyonunda da geniş yayılım gösteren bitki [2], kaba yem kaynaklarının bulunmadığı sıcak ve kurak yaz aylarında (Haziran-Ağustos) yeşil kalabilmektedir [6, 7, 8, 9, 10].

Bu çalışmada Bilecik doğal florasının 10 farklı lokasyonundan çiçeklenme döneminde toplanan *Bituminaria bituminosa* (L.) C.H. Stirtion genotiplerinde bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

Bilecik ilinden 2019 yılının Ağustos ayında toplanan *Bituminaria bituminosa* (L.) C.H. Stirtion genotipleri “Bb” bitkisel materyal olarak kullanılmıştır (Tablo 1). Bitkilerin toplandığı duraklar arasındaki mesafe en az 8 km olup [11], duraklara ait yükseklik ve koordinat bilgileri GPS ile ölçülerek kaydedilmiştir. Yol kenarlarında fazlaca bulunan bitkinin toplama işlemi ilk etapta yola yakın yerlerde, daha sonra yola uzak alanlarda yapılmıştır. Bitkiler araziden çiçeklenme döneminde toplanmıştır. Genotipler her duraktan 3 bitki olacak şekilde toplanmış olup, bu 3 genotipin ortalaması ise lokasyonu temsil etmiştir.

Genotiplerin toplandığı Bilecik ilinin uzun yıllar ortalama yağış toplamı 457.1 mm iken, 2019 yılında 1415.1 mm olmuştur. Uzun yıllar sıcaklık ortalaması 12.50 °C, 2019 yılında 13.13 °C olarak tespit edilmiştir. İlin uzun yıllar ve 2019 döneminde ortalama nispi nem değerleri ise sırasıyla % 67.40 ve % 69.27 olmuştur [12].

Doğal floradan toplanan ve kese kâğıdına konulan Bb örnekleri Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarına getirilmiştir. Daha sonra bu örnekler sabit ağırlığa gelene kadar 60 °C’de etüvde kurutulmuş ve elek çapı 1 mm olan değirmende öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. Öğütülen örneklerin ham protein, ADF, NDF, K, Ca, P ve Mg oranları Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarında bulunan Near Infrared Reflectance Spectroscopy (Foss 6500) cihazıyla IC-0904FE paket programı kullanılarak belirlenmiştir [13]. Çalışmada ADF

ve NDF değerlerinden faydalanılarak genotiplere ait bazı kalite standartları belirlenmiştir. Bu standartların belirlenmesinde ise Rohweder ve ark. (1978)'nin [14] belirlemiş oldukları formüller kullanılmıştır.

Sindirilebilir Kuru Madde (SKM): $(88.9 - (0.779 * \% \text{ADF}))$

Toplam Sindirilebilir Besin (TSB): $(96.35 - (\text{ADF} * 1.15))$

Kuru Madde Tüketimi (KMT): $(120/\text{NDF})$

Nispi Yem Değeri (NYD): $(\% \text{SKM} * \% \text{KMT}) / 1.29$

Nispi Yem Kalitesi (NYK): $(\% \text{KMT} * \% \text{TSB}) / 1.23$

Tablo 1. *Bituminaria bituminosa* genotiplerinin toplandığı yerlere ait coğrafi bilgiler

Toplama yeri	Kısa ismi	Koordinatlar		Yükseklik (m)
		Kuzey	Doğu	
Yakacık	Yk	40° 4' 50.65"	30° 18' 52.74"	162
Tuzaklı	Tu	40° 6' 12.83"	30° 14' 10.08"	185
Akçasu	As	40° 5' 27.21"	30° 18' 9.49"	326
Abbaslık	Ab	40° 7' 25.50"	29° 58' 40"	432
Küre	Kr	40° 4' 48.02"	30° 7' 47.16"	450
Söğüt	St	40° 1' 29.55"	30° 9' 49.05"	645
Kepen	Ke	39° 59' 59.72"	30° 8' 10.72"	778
Ormangözü	Og	39° 53' 20.21"	29° 55' 21.16"	800
Esemen	Es	40° 2' 51.51"	29° 53' 54.09"	1010
Darıdere	Dd	39° 48' 25.46"	29° 58' 10.00"	1126

Araştırmadan elde edilen verilerin analizi SPSS 21.0 paket programı, biplot analizi ve grafiği ise PASW (18) İstatistik Veri Temel bileşen analizi yardımıyla (PCA) yapılmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bilecik ili doğal florasından toplanan 10 adet adet *Bb* genotiplerine ait ham protein oranı (HP), asit deterjanda çözünen lif (ADF), nötr deterjanda çözünen lif (NDF), potasyum (K), fosfor (P), kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) oranları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. *Bituminaria bituminosa* genotiplerine ait HPO, ADF, NDF, K, P, Ca ve Mg oranları (%).

Genotipler	HP	ADF	NDF	K	P	Ca	Mg
Yakacık	13.65	43.51	53.41	2.43	0.18	1.29	0.29
Tuzaklı	13.93	39.48	54.63	2.76	0.26	0.93	0.21
Akçasu	18.32	32.07	47.16	2.27	0.22	1.23	0.46
Abbaslık	14.55	36.47	52.79	2.07	0.33	1.29	0.32
Küre	17.16	35.70	51.69	2.82	0.25	1.05	0.30
Söğüt	21.05	29.13	44.15	3.30	0.34	1.19	0.45
Kepen	19.53	31.91	45.68	2.74	0.30	1.27	0.43
Ormangözü	18.09	34.02	50.13	2.87	0.25	1.27	0.32
Esemen	17.12	34.98	51.35	3.17	0.33	1.04	0.32
Darıdere	19.51	32.95	48.26	3.20	0.28	1.00	0.30
Ortalama	17.29	35.02	49.93	2.76	0.27	1.16	0.34
En düşük	12.85	27.85	43.03	2.01	0.18	0.91	0.20
En yüksek	21.14	44.72	57.01	3.40	0.36	1.41	0.47
Standart sapma	2.55	4.48	3.91	0.40	0.05	0.22	0.07
% VK	14.75	12.79	7.83	14.49	18.52	18.97	20.59

HP: Ham protein oranı; ADF: Asit deterjanda çözünen lif; NDF: Nötr deterjanda çözünen lif; K: Potasyum, P: Fosfor; Ca: Kalsiyum; Mg: Magnezyum

En yüksek ham protein oranı % 21.05 ile Söğüt, en düşük ise % 13.65 ile Yakacık lokasyonundan toplanan genotiplerde belirlenmiştir (Tablo 2). Genotiplerin ham protein oranına ait varyasyon katsayısı (VK)

% 14.75 olarak belirlenmiştir. Gülümser (2011) [15] Karadeniz bölgesinden topladığı *Bb* genotiplerinde ham protein oranının % 24.60-13.28 arasında değiştiğini bildirmiştir. Bu bulgu, bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçla uyumludur.

Doğal floradan toplanan *Bb* genotiplerinin ADF ve NDF oranları sırasıyla % 43.51-29.13 ve % 54.63-44.15 arasında değişmiş, ortalama değerleri ise sırasıyla % 35.02 ve % 49.93 olarak belirlenmiştir (Tablo 2). VK değeri ise ADF için % 12.79, NDF için % 7.83 olmuştur. Birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmada *Bb*'nin ADF ve NDF oranının sırasıyla % 38.8-21.9 ve % 56.30-25.00 arasında değiştiği belirlenmiştir [5, 8, 9, 10, 15]. Çalışmalar arasındaki farklılıkların, incelenen materyallerin gelişme dönemi ile toplama alanlarındaki iklim ve toprak faktörlerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

En yüksek K içeriği % 3.30 ile Söğüt, en düşük ise % 2.07 ile Abbaslık lokasyonundan toplanan genotiplerde belirlenmiştir. P, Ca ve Mg oranları ise sırasıyla % 0.33-0.18, % 1.29-0.93 ve % 0.46-0.29 arasında değişmiştir. Makro besin elementleri arasında en yüksek VK değeri ise % 20.59 ile Mg oranında tespit edilmiştir (Tablo 2). Geviş getiren hayvanlar için yemlerde K içeriğinin % 0.8, P içeriğinin % 0.21, Ca içeriğinin % 0.3 ve Mg içeriğinin ise % 0.1-0.2 arasında bulunması gerekmektedir [16, 17]. Buna göre, incelenen tüm genotiplerin söz konusu elementler için hayvan besleme açısından istenen değerlerin üstünde olduğu görülmektedir. Bu çalışmaya benzer şekilde, Gülümser (2011) [15] Samsun, Sinop, Ordu ve Zonguldak illerinin farklı yerlerinden toplanan *Bb* genotiplerinde K, P, Ca ve Mg içeriklerinin sırasıyla % 2.15-1.11, % 0.40-0.26, % 2.17-1.03 ve % 2.2-0.63 arasında değiştiğini bildirmiştir. Sonuçların, bu çalışma ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Bilecik ilinin farklı yerlerinden toplanan *Bb* genotiplerinin sindirilebilir kuru madde (SKM), toplam sindirilebilir besin (TSB), kuru madde tüketimi (KMT), nispi yem değeri (NYD) ve nispi yem kalitesi (NYK) verileri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. *Bb* genotiplerine ait SKM, TSB, KMT (%), NYD ve NYK değerleri

Genotipler	SKM	TSB	KMT	NYD	NYK
Yakacık	55.01	46.32	2.25	95.79	84.58
Tuzaklı	58.14	50.94	2.19	99.02	90.98
Akçasu	63.91	59.47	2.55	126.63	123.52
Abbaslık	60.49	54.41	2.27	106.75	100.74
Küre	61.09	55.30	2.33	110.85	105.31
Söğüt	66.21	62.85	2.71	139.48	138.87
Kepen	64.03	59.65	2.63	130.35	127.29
Ormangözle	62.40	57.22	2.39	116.03	111.72
Esemen	61.65	56.12	2.33	111.70	106.66
Darıdere	63.23	58.45	2.49	122.05	118.38
Ortalama	61.62	56.07	2.41	118.10	113.72
En düşük	54.07	44.93	2.10	96.40	85.94
En yüksek	67.20	64.32	2.79	139.80	141.50
Standart sapma	3.49	5.15	0.19	14.73	17.65
% VK	5.66	9.18	7.88	12.47	15.52

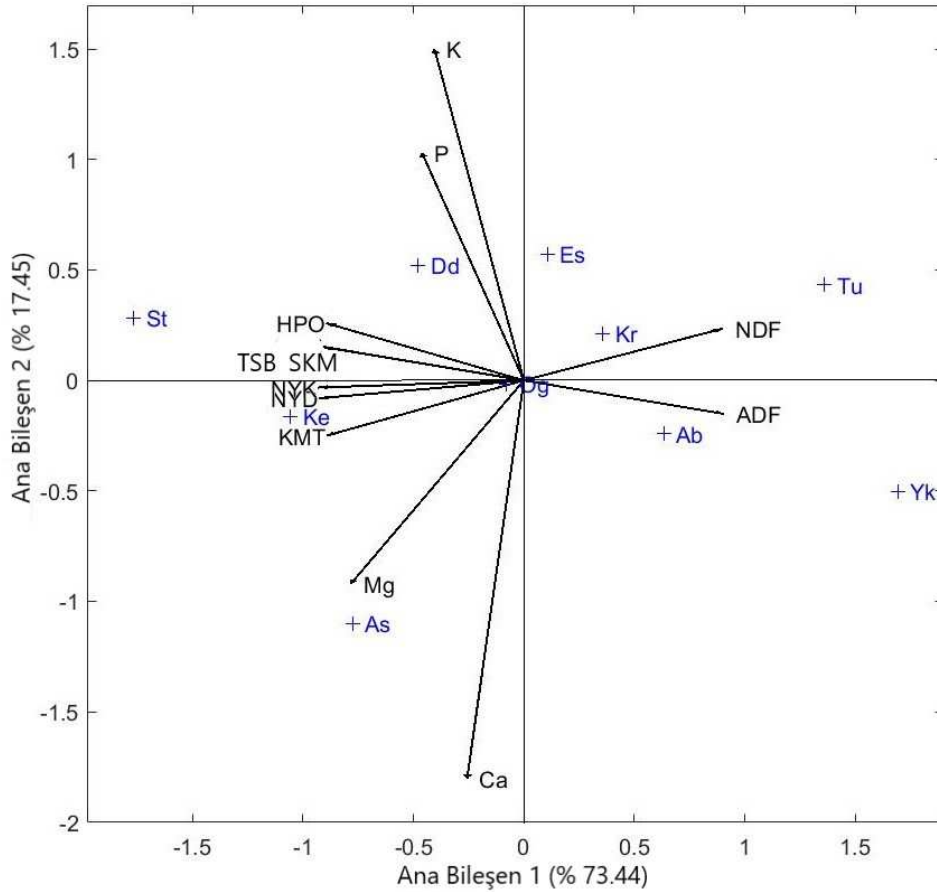
SKM: Sindirilebilir kuru madde; TSB: Toplam sindirilebilir besin; KMT: Kuru madde tüketimi; NYD: Nispi yem değeri; NYK: Nispi yem kalitesi

En yüksek SKM değeri % 64.03 ile Kepen, en düşük ise % 55.01 ile Yakacık lokasyonundan toplanan bitkilerde tespit edilmiştir. Bu özelliğe ait VK oranı ise % 5.66 olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda yonca bitkisindeki SKM oranının % 63.17-60.62 [18], mürdümük bitkisinde ise % 66.5-62.1 arasında değiştiği belirlenmiştir [19]. Bu durum *Bb* genotiplerinin sindirilebilirliğinin yoncaya benzer olduğunu göstermektedir. *Bb* genotiplerinde TSB oranı % 46.32 (Yakacık) – 62.85 (Söğüt) arasında değişmiş ve ortalama % 56.07 olarak belirlenmiştir. En yüksek KMT Söğüt (% 2.71), en düşük ise Tuzaklı (% 2.19) lokasyonlarına ait genotiplerde belirlenmiştir. Genotipler arasında KMT değeri ortalama % 2.41 iken, VK ise % 7.88 olarak tespit edilmiştir.

NYD ve NYK değerleri ADF ve NDF oranları kullanılarak hesaplanan ve yemin kalitesini rakamsal olarak gösteren bir ölçüdür [20]. En yüksek NYD ve NYK değeri Söğüt (sırasıyla; 139.48 ve 138.87), en düşük Yakacık (sırasıyla; 95.79 ve 84.58) lokasyonundan toplanan *Bb* genotiplerinde tespit edilmiştir. Genotiplerin

ortalama NYD ve NYK ile VK oranları ise sırasıyla 118.10-113.72 ve % 12.47-15.52 olmuştur (Tablo 3). NYD yem bitkileri pazar fiyatlarının belirlenmesi amacıyla kullanılan 6 kalite sınıfına ayrılmış rakamsal bir ölçüttür. Buna göre, NYD 151'den büyükse başlangıç sınıfı, 125-151 arasında ise 1. sınıf, 103-124 arasında ise 2. sınıf, 87-102 arasında ise 3. sınıf, 75-86 ise 4. sınıf ve 75'den küçük olduğunda ise 5. sınıf olarak kabul edilmiştir [14]. NYK ise 4 sınıfta toplanmış olup, 140'dan büyükse çok iyi, 110-139 arasında ise iyi, 90-109 arasında ise orta ve 75'den az ise kötü sınıf olarak kabul edilmektedir [21]. Çalışmada genotiplerin NYD değerleri 1. 2. ve 3. sınıfta yer alırken, NYK değeri ise orta ve iyi kalite sınıfı arasında değişmiştir (Tablo 3). Gülümser ve ark. (2020) [22] doğal floradan topladıkları ak taş yoncalarının NYD değerinin 147.58 ile 93.44 arasında değiştiğini bildirmiştir.

Şekil 1'de *Bb* genotipleri ile kalite özellikleri arasındaki interaksyonu gösteren biplot grafiği verilmiştir. Grafikte, ana bileşen 1 (% 73.44) ve ana bileşen 2 (% 17.45) değerlerinin toplamı % 90.89 olmuştur. Fırıncıoğlu ve ark. (2012) [23] ile Sayar ve Han (2015) [24] ana bileşenlerin değerinin yüksek olmasını grafiğin daha güvenli yorumlanması açısından önem teşkil ettiğini ve grafik üzerinde genotiplerin etkisinin daha yüksek olduğunu bildirmektedir. Şekil 2 incelendiğinde, tüm kalite kriterleri açısından Söğüt (St), Darıdere (Dd), Akçasu (As) ve Kepen (Ke) genotipleri öne çıkmıştır. Diğer taraftan ADF ve NDF oranları aynı grupta yer almış ve oluşan bu grubun içerisinde ise Tuzaklı (Tu) ve Yakacık (Yk) genotipleri yer almıştır.



Şekil 1. *Bituminaria bituminosa* genotiplerinin iki ana bileşenine dayalı dağılım grafiği

IV. SONUÇ

Bilecik ili doğal florasından toplanan *Bb* genotiplerinin kalite özellikleri incelenmiş ve genotipler arasında kalite özellikleri bakımından farklılıklar ile geniş bir varyasyon tespit edilmiştir. Bu durum bu bitkilerde ileride yapılacak olan ıslah çalışmalarına ışık tutacak niteliktedir. Zira ülkemizde ve bölgemizde mevcut hayvanların beslenmesi açısından kaba yem açığının kapatılmasında alternatif yem bitkilerine yönelme zorunluluğu varken, günümüzde doğal çeşitliliğin tehlike altında olduğu da yadsınamaz bir gerçektir. İncelenen *Bb* bitkilerinde ham protein ile makro besin içeriklerinin yeterli, yemin kalitesini ortaya koyan standartlarının ise iyi seviyede olduğu tespit edilmiştir. Bu itibarla farklı lokasyondan toplanan *Bituminaria bituminosa*'nın hayvan beslenmesinde kullanılabileceği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] 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
- [2] Ocak A., Öztürk, D., & Kara, İ. (2017). *Bilecik Florası*. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Yayınları, Bilecik, 1135 s.
- [3] Alkamade, R., Oorschot, M., Miles, L., Nellemann, C., Bakkenes, M., & Brink, B. (2009). *A framework to investigate options for reducing global terrestrial biodiversity loss. Ecosystems*. www.pbl.nl/en/publications/2009/GLOBO3-A-Framework-toinvestigate-options-for-reducing-global-terrestrial-biodiversity-loss.html. (Ziyaret tarihi: 05.09.2019).
- [4] Davis, P.H. (1965). *Flora of Turkey And The East Aegean Islands*. Edinburgh University Press, Edinburgh, 567s.
- [5] Ventura, M.R., Flores, M.P., & Castanon, J.I.R. (1999). Nutritive value of forage shrubs: *Bituminaria bituminosa*. *Acacia salicina* and *Medicago arborea*. In 'Cahiers Options Mediterraneennes'. 39, 171-173.
- [6] Ventura, M.R., Castanon, J.I.R., Pieltain, M.C., & Flores, M.P. (2004). Nutritive value of forage shrubs: *Bituminaria bituminosa*. *Rumexlunaria*. *Acacia salicina*. *Cassia sturtii* and *Adenocarpus foliosus*. *Small Rumin. Researach*, 52, 13–18.
- [7] Ventura, M.R., Castanon, J.I.R., & Mendez, P. (2009). Effect of season on teder (*Bituminaria bituminosa*) intake by goats. *Animal Feed Science and Technology*, 153, (3-4), 314-319.
- [8] Álvarez, S., Méndez, P., Díaz, C., & Fresno, M. (2004). *Ingestión. composición química y digestibilidad in vivo de teder (Bituminaria bituminosa (L.) Stirton)*. In 'XLIV reunión científica de la S.E.E.P. pastos y ganadería extensiva', Salamanca pp. 337-340.
- [9] Sternberg, M., Gishri, N., & Mabjeesh, S.J. (2006). Effects of grazing on *Bituminaria bituminosa* (L.) Stirton: a potential forage crop in Mediterranean grasslands. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192, 399-407.
- [10] Pecetti, L., Tava, A., Pagnotta, MA., & Russi, L. (2007). Variation in forage quality and chemical composition among Italian accessions of *Bituminaria bituminosa* (L.) Stirt. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 985-991.
- [11] Tan, A. (1992). Türkiye’deki Bitkisel Çeşitlilik ve Bitki Genetik Kaynakları. *Anadolu Dergisi*, 2, 50–64.
- [12] Anonymous, 2019. <https://mgm.gov.tr/?il=Bilecik> (Ziyaret tarihi: 12.09.2019).
- [13] Straks, P.J., Samuel, W.C., & William, A.P. (2004). Determination of Forage Chemical Composition Using Remote Sensing. *Journal of Range Management*, 57, 635–640.

- [14] Rohweder, D.A., Barnes, R.F., & Jorgensen, N. (1978). Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of Animal Science*, 47, (3), 747-759.
- [15] Gülümser, E. (2011). *Orta Karadeniz Bölgesinde Doğal Olarak Yetişen Bituminaria bituminosa L. (Syn. Psoralea bituminosa L.) Bitkisinin Tanımlanması ve Tarımsal Özelliklerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [16] Tejada, R., Mcdowell, L.R., Martin, F.G., & Concard, J.H. (1985). Mineral element analyses of various tropical forages in Guattamala and their relationship to soil concentrations. *Grassland and Forage Abstract*, 71(8).
- [17] Kidambi, S.P., Matches, A.G., & Grigs, T.C. (1989). Variability for Ca. Mg. K. Cu. Zn and K/(Ca+Mg) ratio 3 wheat grasses and on the southern sainfoin high plains. *Journal Range Management*, 42, 316 – 322.
- [18] Canbolat, Ö., Kalkan, H., Karaman, S., & Filya, İ. (2010). Üzüm Silajının Yonca Silajında Karbonhidrat Kaynağı olarak Kullanılma Olanakları. *Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 16, (2), 269-276.
- [19] Basaran, U., Mut, H., Aşçı, Ö. Ö., Acar, Z., & Ayan, İ. (2011). Variability forage Quality of Turkish Grass Pea (*Lathyrus Sativus L.*) Landraces. *Turkish Journal of Field Crops*, 16, (1), 9-11.
- [20] Yavuz, M., İptas, S., Ayhan, V., & Karadağ, Y. (2009). *Yembitkilerinde Kalite ve Yembitkilerinden Kaynaklanan Besleme Bozuklukları*. Ofset Hazırlık Emre Basımevi, İzmir, 163-172.
- [21] Marten, G.C., Buxton, D.R., & Barnes, R.F. (1988). *Feeding value (forage quality)*. Madison, Wisconsin, USA, 463-492.
- [22] Gülümser, E., Mut, H., Çopur Doğrusöz, M., & Başaran, U. (2020). Doğal Floradan Toplanan Aktaş Yoncalarının (*Melilotus alba Desr.*) Bazı Kalite Özellikleri. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8, (2), 324-328.
- [23] Fıncıoğlu, H.K., Ünal, S., Pank, Z., & Beniwal, S.P.S. (2012). Growth and development of narbon vetch (*Vicia narbonensis L.*) genotypes in the semi-arid central Turkey. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10, (2), 430-442.
- [24] Sayar, M.S., & Han, Y. (2015). Mürdümük (*Lathyrus sativus L.*) Hatlarının tohum verimi ve verim komponentlerinin belirlenmesi ve GGE biplot analiz yöntemiyle değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 21, (1), 78-92.

Araştırma Makalesi - Research Article

Standart Dışı Değerlerin Tespitinde DBSCAN Algoritması ile Seri ve Paralel Programlama Performansının Karşılaştırılması

Hüseyin Yaşar^{1*}, Mehmet Albayrak²

Geliş / Received: 21/11/2019

Revize / Revised: 08/04/2020

Kabul / Accepted: 26/04/2020

ÖZ

Bilgisayarların hayatımıza girmesiyle beraber dijital verilerin boyutları giderek artmaktadır. Dijital dünyada üretilen bu verilerin içinde benzerlerinden farklı davranış sergileyen standart dışı değerler (aykırı değerler) bulunabilmektedir. Bu değerlerin özellikle büyük veri setleri içinde tespiti; güvenlik, sigortacılık, finans, tıp ve genetik gibi alanlarda büyük önem taşımaktadır. Büyük veri setlerinde standart dışı değerlerin tespitinde veri madenciliği yöntemlerinden kümeleme teknikleri sıklıkla kullanılmaktadır. Gürültülü ve aykırı değerlere karşı hassas olan kümeleme algoritmalarından, yoğunluk tabanlı DBSCAN (Density-based spatial clustering of applications with noise) algoritması standart dışı değerlerin tespitinde kullanılan en önemli yöntemlerdendir. Bu çalışmada standart dışı değerlerin tespiti için C# programlama dilinde DBSCAN algoritması kullanılarak bir uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulamada; veri sayıları birbirinden farklı 2 adet veri seti ele alınmış ve analizleri yapılmıştır. Veri setleri analizinin en kısa süreye indirilebilmesi için seri ve paralel programlama teknikleri ayrı ayrı kullanılmıştır. Büyük veri setlerinin analiz süresini kısaltmak amacı ile. Net 4.0 ile gelen TPL (Task Parallel Library) içinde yer alan paralel sınıf üyelerinden yararlanılmıştır. Veri setlerinde yapılan analizlerde DBSCAN algoritmasının standart dışı değerlerin tespiti açısından seçilen diğer algoritmalara göre daha yüksek doğruluk oranında sonuç verdiği ve kullanılabilir olduğu görülmüştür. Hesaplama performansı açısından ele alındığında ise paralel programlamanın veri sayısı arttıkça daha verimli olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler- *Standart dışı veri, Kümeleme, DBSCAN, Paralel programlama*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: huyasar@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-2715-9313>)

Department of Electronics and Computer Education, Süleyman Demirel University, Isparta

²İletişim: mehmetalbayrak@isparta.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-7089-122X>)

Department of Computer Tech., Isparta University of Applied Sciences, Isparta

Comparison of Serial and Parallel Programming Performance in Outlier Detection with DBSCAN Algorithm

ABSTRACT

With the introduction of computers into our lives, digital data sizes are increasing gradually. Non-standard values (outliers) which behave differently from the others can be found in these data produced in the digital world. Detection of these values, especially in big data sets; has great importance in fields such as security, insurance, finance, medicine and genetics. Clustering methods of data mining techniques are frequently used in outlier detection in big data sets. Density based DBSCAN (Density-based spatial clustering of applications with noise) algorithm from clustering algorithms which are sensitive to noisy and outlier values is one of the most important methods in outlier detection. In this study, an application was developed using DBSCAN algorithm in C# programming language for the detection of outliers. In the developed application, 2 data sets with different data numbers were examined and analyzed. For the shortest possible data analysis time, serial and parallel programming techniques were used separately. In order to shorten the analysis time of big data sets, parallel class members in TPL (Task Parallel Library) provided with .Net 4.0 were used. In series of analysis of data sets, it was seen that DBSCAN algorithm produces more accurate results and is more practicable than other selected algorithms in terms of outlier detection. When considered in terms of computing performance, parallel programming has become more efficient as the number of data increases.

Keywords- *Outlier, Clustering, DBSCAN, Parallel Programming*

I. INTRODUCTION

Every day in the world, 2.5 quintillion bytes of digital data are created. 90% of the data in the world today has been created in the last two years alone. These data are mainly; information produced by sensors used to gather climate information, posts on social media sites, digital pictures and videos, purchase transaction records and cell phone GPS signals [1]. More information is produced in many areas such as these. It takes a long time to find the outliers in this data because of the size of the data sets. Outliers are abnormal values which do not fit in overall data set and deviate from the overall distribution of the data. Inconsistencies in data sets may be erroneous or they may reflect the truth. The first thing to take into account at this point is to decide whether the data reflects the reality [2].

Outlier detection has important applications in the field of data mining, such as fraud detection, customer behavior analysis, and intrusion detection. Outlier detection is the process of detecting the data objects which are grossly different from or inconsistent with the remaining set of data. Outliers are traditionally considered as single points; however, there is a key observation that many abnormal events have both temporal and spatial locality, which might form small clusters that also need to be deemed as outliers. In other words, not only a single point but also a small cluster can probably be an outlier [3].

Computer hardware has difficulty to respond the needs of software. While the memory or bit depth in hardware components can be increased, the processor speed reaches almost physical limits. Hardware manufacturers increase the number of cores/processors used in computers instead of the processor speed which reaches physical limits. Computer software is required to be programmed parallelly in order that they benefit more efficiently from multiprocessor computers [4].

Performance of computer systems is directly proportional to processor clock frequency and memory capacity. Performance can be improved by using processors that can operate at higher frequencies since it will increase the number of commands processed at the unit of time. However, increasing processor frequencies is limited due to physical reasons. On the other side, performance can also be increased by extending the memory capacity using additional memory. However, this is also not economic after certain values. It is seen that the performance of single-processor computer systems is limited due to both physical and economic reasons. As a result, parallelism in various dimensions to enhance the performance is inevitable for economic solutions inside or outside the processor [5]. The emergence of multicore chips makes computer programming model facing huge pressure due to the shift from traditional serial programming mode to new parallel programming mode. The performance of serial applications can only be improved with parallelism, and programmers are on the way to parallel programming [6]. If current technological developments in the world does not accelerate certain studies at the desired level, it will be waited that the technology reaches the desired level which may take a long time in certain cases; there may be problems which require an increase at an impossible level or it is necessary to find solutions using the existing technology. In order to accelerate the solution of a problem with existing resources, to segment the problem and to solve each segment in different computers or processors will be the most optimal solution. In other words, the method that should be preferred is definitely parallel programming [7]. Parallel computation has become increasingly important in recent years, moving from the realm of scientific supercomputing into corporate database servers and into the cellphones and personal computers of users [8].

The main purpose of parallel programming of an algorithm is to benefit from the advantages of multi-core processors in the most effective and correct way. One of the most effective methods to shorten the computing time in the applications that uses very large data and requires a long computing time, is to distribute processes parallelly among multi cores. Thus, the calculation time is shortened and therefore the performance increase is aimed [9]. Multi-core processors and shared memory multiprocessor systems can speed up applications when using multiple threads and/or multiple processes. At this level, parallel programs can be written using multi-threaded programming using explicit threading supported by the operating system [10].

The current state of the information sector and the corresponding rapid increase of needs day by day brings a lot of problems with it. Information Technologies sector also occupies the first place by getting the maximum share of the cake. Now, in addition to the stable and faultless operation of a developed system, to achieve the best result in the shortest time possible is early in the list of demands. The subject of speed has vital

importance for production industry, engineering calculations, military simulation projects and weather forecasts. [11].

Additionally, Multicore development support within the C# language is extremely powerful and versatile making it one of the best languages available for the rapid development and prototyping of parallel Symmetric Multiprocessing (SPM) applications. Although C# is primarily designed for the Windows operating system, parallel applications can be deployed on many other non-Windows systems via the World Wide Web or using an open source compiler such as Mono. Considering its reasonable execution performance and the very rapid development time lines afforded by the robust Visual Studio IDE and multicore development classes, C# is preferred for multicore development unless Asymmetric Multiprocessing or non-uniform memory access were key project requirements [12]. TPL (Task Parallel Library) auto scales the concurrency and LINQ queries to a multicore level. It handles the partitioning of the work and uses Thread Pool where required. It is easy to use and reduces the complexity of working with threads directly [13].

In this study, subjects of non-standard data analysis, DBSCAN algorithm and parallel programming with Microsoft .NET was emphasized. DBSCAN algorithm which is a clustering method has been studied in the study. Microsoft .Net parallel programming methods are used to improve the speed and performance of the developed program. Speed and performance of serial and parallel programming have been compared.

II. OUTLIER ANALYSIS

In order to be able to evaluate the data sets scientifically, certain preliminary operations are required. In addition to problems such as incomplete or inconsistent data, presence of excessive or extreme values in the data is a problem that must be taken into consideration, especially for statistical analysis [14]. Extreme values which do not fit into the data set when compared to the other values in the data set are called as outliers (non-standard data) [15]. Several methods have been developed to determine whether the values in the data sets are outliers. These are classic determinants, robust methods and data mining methods. Classic determinants experience difficulties in the presence of a large number of outliers, while they do not have problems in the presence of a single outlier. Multiple classic determinants are needed in case of multiple outliers, and these require complex operations [16]. These methods are not preferred due to computational complexity in big data sets. More distance and density-based methods are used in big data sets.

A. DBSCAN Algorithm

DBSCAN, a density-based clustering algorithm, accounts for the densities of objects while generating clusters. Clusters are defined by high-density data objects; while clusters with low density objects indicate outliers or noisy points. DBSCAN algorithm can be viewed as a prototypal method in which the extension of a cluster relies on some conditions that can be viewed as a predicate. DBSCAN is particularly useful for large databases and data sets containing noisy objects [17,18]. DBSCAN is an iterative algorithm which iterates over the objects in the dataset, analyzing their neighborhood. If there are more than minPts objects whose distance from the considered object is less than eps, then the object and its neighborhood originate a new cluster. DBSCAN is effective at finding clusters with arbitrary shape, and it is capable of identifying outliers as a low-density area in the data space. The effectiveness of the algorithm is strongly affected by the setting of parameters eps and minPts [19]. DBSCAN clustering algorithm needs two input parameters to define the notion of density: Eps and MinPts. The input parameter Eps is a radius value and it is based on a distance metric such as Manhattan, Euclidean etc. The second input parameter MinPts specifies the minimum number of points that should occur within Eps radius [20]. The terms of core point, eps, minPts, directly density reachable point, density reachable point and density connected point are main concepts for DBSCAN. The algorithm requires two parameters: eps and minPts. It controls all objects starting from any object in the database. If the controlled object was previously included in a cluster, it switches to the other object without performing the operation. If the object was not clustered previously, it finds the neighbors of the object within the eps neighborhood by making a region query. If the number of neighbors is more than minPts, it marks this object and its neighbors as a new cluster. Then, it finds new neighbors by making region query for each neighbor which has not been clustered before. If the number of neighbors of the region queried points is more than minPts, it is included into the cluster [21]. Objects outside of the cluster are marked as outliers.

In this study, real_2 data set is provided from Yahoo Webscope library. The values in the data set are derived from the values obtained from Yahoo services. The data set is named S5 - A Labeled Anomaly Detection Dataset, version 1.0 (16M) and is 1439 lines long. [22]. The other data set used in the study is provided German Artificial Intelligence and Research Center. The dataset is named dfki-artificial-3000-unsupervised-ad and is 3000 lines long [23]. Data sets specifically contain non-standard values (Fig. 1). The characteristics of the data sets are shown in Table 1.

timestamp	value	is_anomaly
1	12183	0
2	12715	0
3	12736	0
4	12716	0
5	12739	0
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
1433	117800	1
1434	153159	1
1435	108454	1

1 a

attribute_1	attribute_2	outlier
-9,798576621135520	-14,403254553422400	1
-10,605576721835800	-14,356257577774200	1
-9,958576690135520	-14,101244555626400	1
-9,515670555455520	-13,90323455555500	1
-8,798110623135520	-14,451254553422600	1
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
-3,791569025149460	4,669451951927900	0
5,945872458229040	-7,148171930690370	0
5,013359581217500	-7,924428553746300	0
3,444621469062470	-7,229945398561400	0

1 b

Figure 1. Sample dataset parts; **1a**: real_2 data set **1b**: dfkiartificial300 data set

Table 1. The characteristics of the data sets

Data Set	Lines Length	Number of Non-standard values	Place Provided
real_2	1439	16	Yahoo Webscope
dfkiartificial300	3000	37	German Research Center for Artificial Intelligence

The application is run on MS Windows 10 operating system, Intel (R) Core (TM) i7 - 3630QM CPU 2.40 GHZ processor and 16GB memory hardware. The serial and parallel codes of the program were written in C# programming language. The application was developed using the Visual Studio 2015 editor. The application was developed as a Windows Form Application in C# language and the analysis results are shown visually in figures. Operation of the application and objects on the form display; table selection, number of data, number of nonstandard values, distances of nonstandard values, operation with serial codes, operation with parallel codes, optimal eps and minPts values, graphic area operating with ZedGraph plugin, size of non-standard values and working time.

For measurement of run time (performance); Freeman [24] mentioned that the Stopwatch class is a right method for performance measurement.

In this study, the execution run times of serial and parallel methods were measured using this class and shown on the application in millisecond.

B. Finding Optimal Eps and minPts Values for Data Sets

DBSCAN algorithm requires the eps and minPts values to be entered by the user. The selection of the eps and minPts values is very important for the DBSCAN algorithm to give the best result. Elbatta and Ashour [25], specified that in order to determine eps and minPts values, it is required to look for the kth nearest neighbor distances of the points and named the distance of the points as kNN-dist. kNN-dist is calculated for all points and these k distances are transformed into an increasing graph. In order to calculate the appropriate eps and

minPts values for each data set, the R project named statistical modeling and development tool was used to plot the nearest neighbor k graph.

For the Real_2 data set, the sharp change in the graph is taken as the value of eps since it is approximately 500, and the value of minPts is taken equal to the value of k (Fig. 2). For the dfkiartificial3000 data set, the sharp change in the graph is taken as the value of eps since it is approximately 0.9, and the value of minPts is taken equal to the value of k. (Fig. 3). In addition, the dashed line in Figures 1 and 2 is used to indicate approximately at which points the sharp change in the graphics.

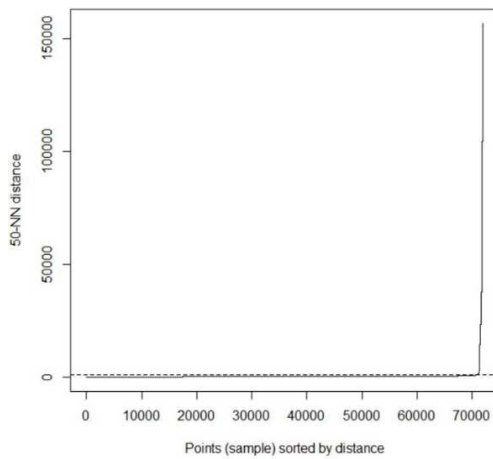


Figure 2. k-Dist graph for data sets

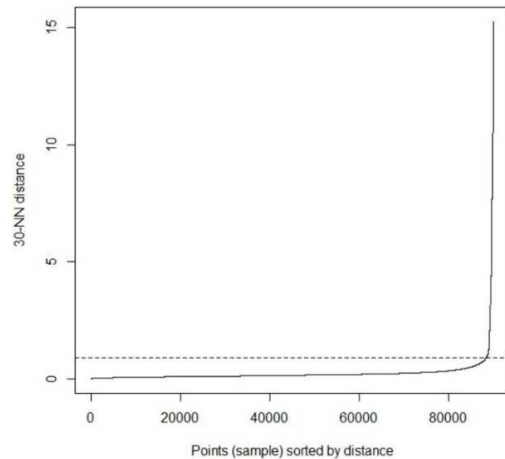


Figure 3. k-Dist graph for data sets

C. DBSCAN Application in Serial and Parallel Programming and the Results

The implemented application contains 3 methods (GetClusters, ExpandCluster, GetRegion) (Table 2). The code map generated by the Visual Studio editor of the serial and parallel application is shown (Fig. 4 and Fig. 5). Code maps help you see how the code fits together without reading through files and lines of code [26].

Table 2. Methods used in the application and their tasks.

Method Name	Task
GetClusters	It finds arrays containing clusters.
ExpandCluster	It expands clusters
GetRegion	Finds core points.

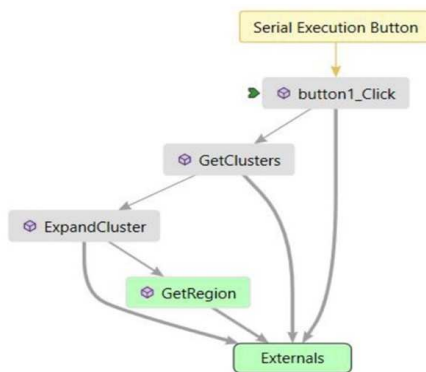


Figure 4. Code map of serial execution

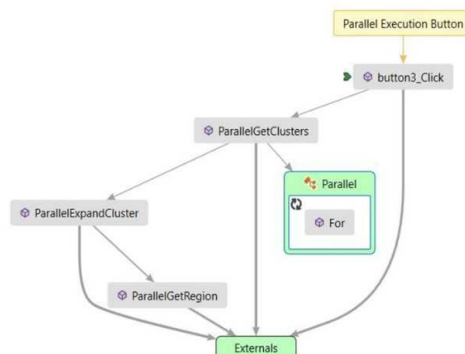


Figure 5. Code map of parallel execution

With the Microsoft .Net Framework 4.0 version, applications can be run simultaneously and more efficiently with multiple-channel methods on multiple cores. Instead of using "for" loops used in serial applications, we tried to improve performance by using the "parallel for" loop, which is a parallel class member in the task parallel library (TPL) that provided with .Net framework 4.0. "Parallel for" loop was used in "ParallelGetCluster" method. The Parallel for loop concurrently processes the points in the data set, through the automatically generated "threads". The analysis images for the Real_2 and DfkiArtificial3000 data sets are shown in Fig. 6 and Fig. 7. In addition, the tasks of the objects on the application are given in Table 3.

Table 3. Tasks of objects in the application interface

Object	Task
Number of Data	The number of lines in the selected data set is shown.
Number of Non-Standard Value	The number of data detected by the application as non-standard data is shown.
Non-Standard Values	Identified non-standard values
Serial Execute	The application is provided to work with serial codes
Parallel Execute	The application is provided to work with parallel codes.
eps and minPts	Optimum eps and minPts values are shown according to the selected data set
Graphics Area	The analyzed data are shown in the graphics area. Normal values are shown in blue and non-standard values are shown in red.

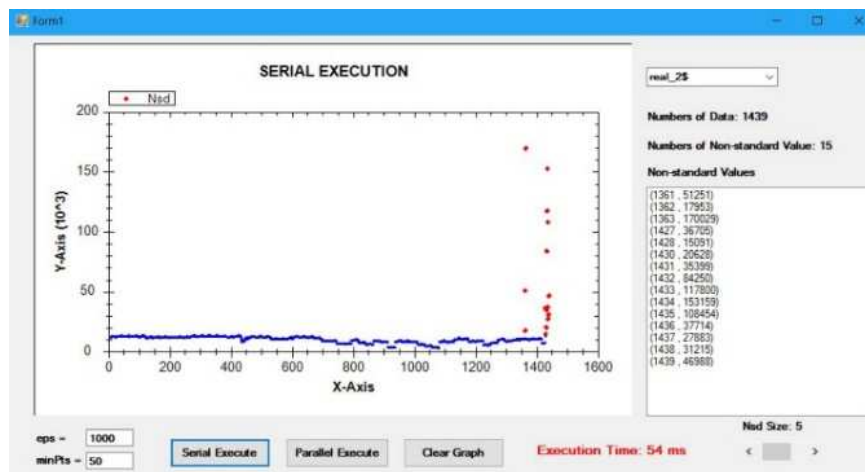


Figure 6. real_2 Data set analysis

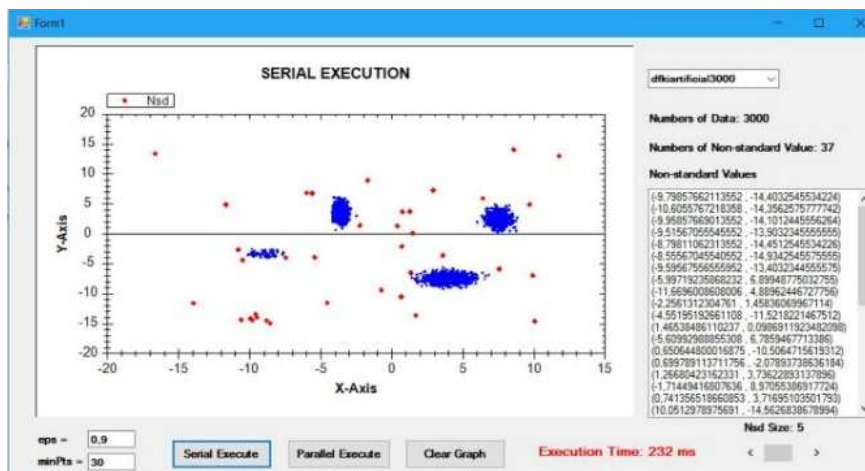


Figure 7. dfkiartificial300 Data set analysis

Parallel code analysis images for the same data sets are shown in Fig. 8 and Fig. 9. Table 4 shows the results of serial and parallel application. As it can be seen from the figures, as the length of the data set increases the parallel execution time is shortened and computation performance is improved.

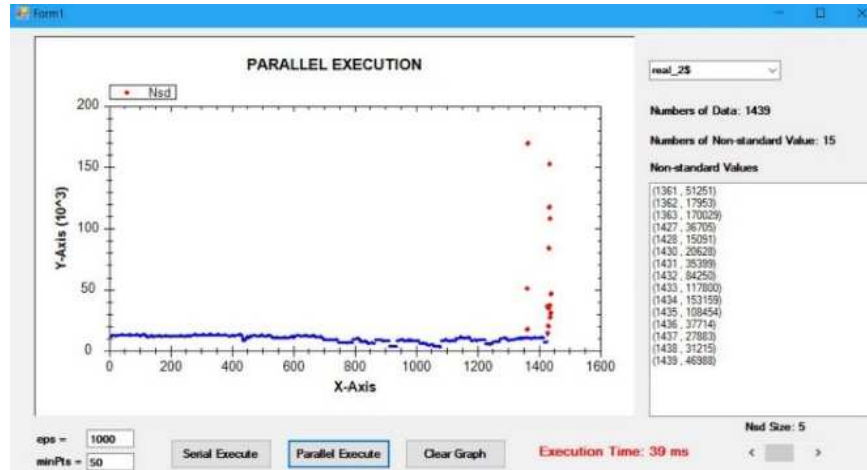


Figure 8. real_2 Data set analysis

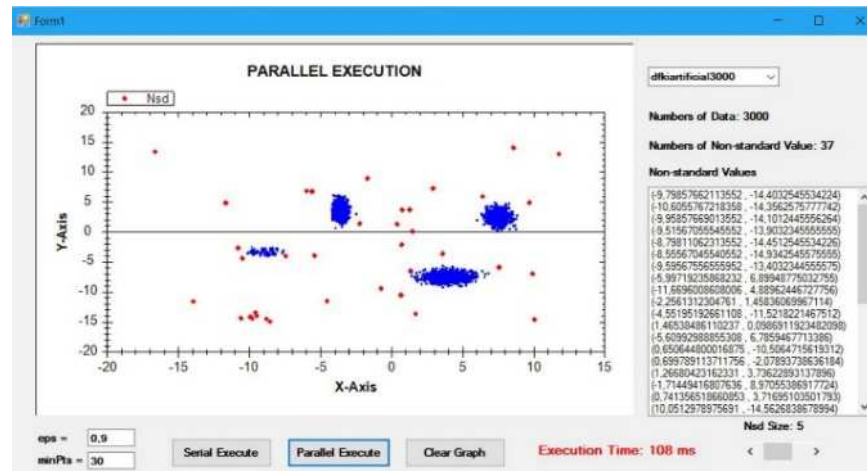


Figure 9. dfkiartificial300 Data set analysis

Table 4. Running time of serial and parallel executions

Table Name	Data Set Length	Eps ve minPts Values	Run Time Serial(mS)	Run Time Parallel (mS)
real_2	1439	Eps: 1000 minPts: 50	54	39
dfkiartificial300	3000	Eps: 0,9 minPts: 30	232	108

D. Non-Standard Value Detection Performance of the Developed Application

The non-standard values specified in the data sets are compared with the non-standard values found by the developed application. The success rates of the application in finding non-standard values are given according to the eps and minPts values detected in the previous sections. Although there are 16 non-standard values in the real_2 data set, the application detected 15 of them. In the dfkiartificial300 data set, the success rate

was found to be 94% (Table 5), even though the number of nonstandard values found by the application was equal to the number of nonstandard values in the data set.

The reason is that the application detected the values that are not non-standard in the data set as non-standard values and that could not detect certain non-standard values. In the kNN-dist chart obtained by using R Project software, eps and minPts values were obtained by visually selecting (approximate value) over the graph. When selecting these values, developing a more accurate method of calculation with sensitive decimals can improve the accuracy rate.

Table 5. Non-standard value detection success rates

Table Name	Eps and minPts Values	Number of Nonstandard Values in Data Set	Number Detected of Nonstandard Values	Success Rate (%)
real_2	Eps:1000 minPts:50	16	15	93,75
dfkiartificial300	Eps:0,9 minPts:30	37	37	94

E. Testing of the Application for Different Configurations and the Results

This study has been tested on two separate systems to measure the computation time of different performance computers. Tests are performed in two different computers with features: Intel(R) Core (TM) i7 / 3630QM CPU 2.40GHz (4 cores - 8 threads) 16GB memory and Intel(R) Core (TM) i5 / 2410M CPU 2.30GHz (2 cores - 4 threads) 4GB memory. Their execution run time were measured. The obtained results are shown in Table 6. As a result of the experiment, the processor speed, the number of cores and the high memory size, have shortened the total processing time, thus affecting the result positively (Fig. 10).

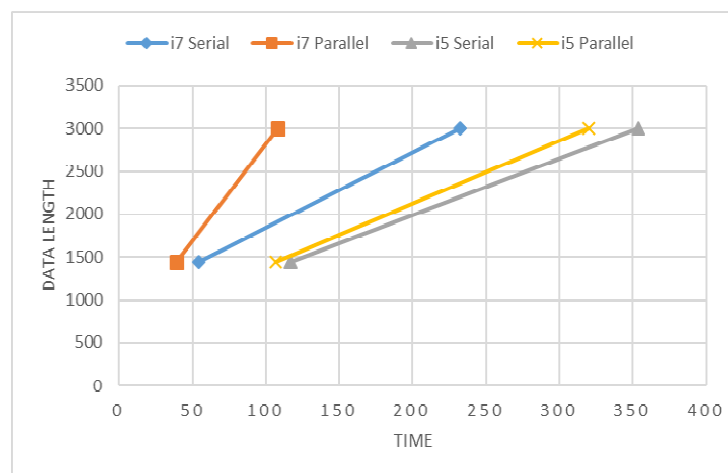


Figure 10. Data Length - Time (mS) Graph

Table 6. Application run time in different computer configurations

Data Set	Computer Configuration			
	Intel Core i7 / 3630QM CPU 2.40GHz (4 core - 8 thread) / Memory: 16GB		Intel Core i5 / 2410M CPU 2.30GHz (2 core - 4 thread) / Memory: 4GB	
	Run Time (mS)			
	Serial	Parallel	Serial	Parallel
real_2	54	39	76	70
dfkiartificial300	232	108	291	191

III. CONCLUSION

Digital data sizes are increasing gradually nowadays. Generating approximately 2.5 quintillion bytes of digital data per day shortens data processing and computation times, making the need for increased performance inevitable. Non-standard data detection of these data sets and their quick analysis have vital importance. In this study, DBSCAN algorithm is used as a density-based clustering algorithm which is frequently used in data mining processes for the detection of non-standard data. The DBSCAN algorithm clusters the points in the data sets and marks the points outside the cluster as non-standard data. The application was developed in Visual Studio environment with C# in the Microsoft .Net platform. 2 different data sets were studied in the developed application and the data sets were analyzed. The points in the data sets were shown on the graphs non-standard values were visually monitored. Although the DBSCAN algorithm is successful in clustering and detecting non-standard values, the need for eps and minPts parameters was seen as a disadvantage of the algorithm. The kNN-dist graph is plotted with the R Project software to determine the optimum eps and minPts values and the appropriate values are determined from the graph. The application made suitable for programming through the parallel classes in the TPL provided with .Net Framework 4.0.

As a result of the application, serial and parallel programming performances were compared on relatively large data sets. As the number of parallel operation data increased, it performed better and the application reached the result in a shorter time. Parallel programming in small data sets did not make a contribution to performance. The application was tested separately in Intel i7 and i5 processors, performance graphs were shown.

IV. DISCUSSION

This study shows that the DBSCAN algorithm is sensitive to non-standard values and can be used to detect these values. The fact that the analysis performed by the application detects the non-standard values at high accuracy rates is important in terms of finding the anomalies in datasets and is open for improvement.

In the future, developing an application that automatically selects the appropriate eps and minPts parameters for the DBSCAN algorithm will be useful for detecting non-standard data in the data set being analyzed. It will be useful to develop and test applications using different clustering algorithms for the detection of nonstandard values. In terms of performance and speed, applications can be developed and tested with other programming languages besides C# (C, C++, Java, Python etc.). Another approach is to use GPU programming as an alternative.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was granted by Süleyman Demirel University Scientific Research Unit (SDU BAP) with the project number of 4199-YL1-14. We thank for its valuable supports.

REFERENCES

- [1] IBM. (2016). What is Big Data? <https://www.01.ibm.com/software/data/bigdata/what-is-big-data.html>, (25.03.2020).
- [2] Güçlü, M. (2012). Detection of Outlier Value with Artificial Immune System Based Algorithm. M.Sc. Thesis, Yıldız Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul, Turkey
- [3] Duan, L., Xu, L., Liu, Y., Lee, J. (2009). Cluster-Based Outlier Detection. *Annals of Operations Research*, 168(1), 151-168.
- [4] Ercan, U., Akar, H., Koçer, A. (2013). Basic Algorithms Used in Parallel Programming. *Academic Informatics Conference*, 23-25 January 2013, Antalya, Turkey, 861-866.
- [5] Durmuş, B. (2013). Virtual Parallel Machine. M.Sc. Thesis, Dumlupınar University, Institute of Science and Technology, Kütahya, Turkey.

- [6] Yang, J., He, Q. (2018). Scheduling Parallel Computations by Work Stealing: A survey. *International Journal of Parallel Programming*, 46(2), 173-197.
- [7] İnce, K. (2013). Application of Genetic Algorithms with Parallel Programming in Multicore Architectures. M.Sc. Thesis, İnönü University, Institute of Science and Technology, Malatya, Turkey.
- [8] Akçay, M., Erdem, H.A. (2013). Parallel Computing with Intel Parallel Studio. XVIII. Internet Conference in Turkey, 9-11 December 2013, İstanbul University, 79-83.
- [9] Anthes, G. (2014). Researchers Simplify Parallel Programming. *Communications of the ACM*, 57(11), 13-15.
- [10] Kalva, H., Colic, A., Garcia, A., Furht, B. (2011). Parallel Programming for Multimedia Applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51(2), 801-818.
- [11] Güneş, A. (2011). Recognition of Handwriting Numbers by Parallel Programming. M.Sc. Thesis, Süleyman Demirel University, Institute of Science and Technology, Isparta, Turkey.
- [12] Drew, J. (2013). Parallel Programming in C # and Other Alternatives, <https://www.codeproject.com/articles/701175/parallel-programming-in-csharp-and-other-alternati>, (15.01.2019).
- [13] Lazar, A. (2018). Task Parallel Library for Easy Multi-Threading in .NET Core [Tutorial]. <https://hub.packtpub.com/task-parallel-library-multi-threading-net-core/>, (25.03.2018).
- [14] Ovla, H.D., Taşdelen, B. (2012). Outlier Value Management. *Mersin University Journal of Health Sciences*, 5 (3), 1-8.
- [15] Aktürk, Z., Acemoğlu, H. (2010). Research and Practice Statistics for Health Care Workers. *Anadolu Matbaası, İstanbul*, 325.
- [16] Vural, A. (2007). Effects of Outliers on Regression Models and Robust Estimators. Master Thesis, Marmara University, Institute of Social Sciences, İstanbul, Turkey.
- [17] Moreira, A., Maribel, Y.S., Carneiro, S. (2005). Density-Based Clustering Algorithms-DBSCAN and SNN. University of Minho, Portugal. https://pdfs.semanticscholar.org/6227/2d87e82ffdec283c6da9d16f5065d7c44835.pdf?_ga=2.241964354.1371730934.1589407236-1802936592.1589407236, (15.05.2018).
- [18] Cassisi, C., Ferro, A., Giugno, R., Pigola, G., Pulvirenti, A. (2013). Enhancing Density-Based Clustering: Parameter Reduction and Outlier Detection. *Information Systems*, 38(3), 317-330.
- [19] Khan, I., Capozzoli, A., Corgnati, S.P., Cerquitelli, T. (2013). Fault Detection Analysis of Building Energy Consumption using Data Mining Techniques. *Energy Procedia*, 42, 557-566.
- [20] Birant, D., Kut, A. (2006). Spatio-Temporal Outlier Detection in Large Databases. *Journal of Computing and Information Technology*, 14(4), 291-297.
- [21] Bilgin, T.T., Çamurcu, Y. (2005). Applied Comparison of DBSCAN, OPTICS and k-Means Clustering Algorithms. *Politeknik Journal*, 8 (2), 139-145.
- [22] Yahoo. (2016). Computing Systems Data. S5 - A Labeled Anomaly Detection Dataset, version 1.0 (16M). <http://webscope.sandbox.yahoo.com/catalog.php?datatype=s&did=70>, (03.12.2016).
- [23] German Research Center for Artificial Intelligence. (2016). http://madm.dfki.de/_media/downloads/dfki-artificial-3000-unsupervised-ad.zip, (15.05.2016).

- [24] Freeman, A. (2010). Pro .NET 4 Parallel Programming in C#. Apress, USA, 311.
- [25] Elbatta, M.T.H., Ashour, W.M. (2013). A Dynamic Method for Discovering Density Varied Clusters. International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, 6 (3), 123-134.
- [26] Microsoft Docs. (2018). Map dependencies with code maps.
<https://docs.microsoft.com/tr-tr/visualstudio/modeling/map-dependencies-across-your-solutions?view=vs-2019>, (30.03.2019).

Araştırma Makalesi - Research Article

Yüksek İç Fazlı Emülsiyon Kalıplama ile Metakrilat Esaslı Küresel Polimerlerin Hazırlanması

Funda ÇİRA³, E. Hilal MERT², Burcu KEKEVİ^{1*}

Geliş / Received: 08/01/20

Revize / Revised: 07/05/2020

Kabul / Accepted: 07/05/2020

ÖZ

Epoksi fonksiyonel gruplara sahip gözenekli polimer küreleri, glisidil metakrilat (GMA) ile esnek gruplara sahip 1,3-bütandiol dimetakrilat (BDDMA) karışımından oluşan monomer bileşimi içinde sulu iç faz çözeltisinin dağıtılması ile elde edilen öncü konsantre emülsiyon kalıpları kullanılarak sentezlendi. Bu amaçla, sulu pullulan çözeltilerinin iç faz olarak kullanılması ile GMA ve BDDMA'nın yüksek iç fazlı emülsiyonları (high internal phase emulsions, HIPEs) hazırlandı. Polimerleştirme adımı, öncü HIPE'lerin sekonder bir sulu ortamda dağıtılması ile elde edilen su/yağ/su (w/o/w) sistemleri içerisinde gerçekleştirildi. Öncü emülsiyon kalıplarının hazırlanmasında farklı konsantrasyonlardaki pullulan çözeltileri iç faz olarak kullanılarak, her bir bağımsız polimer fazın veya ağı kendi özelliklerini koruduğu ve birbirleri ile sinerjik bir etkileşim içinde olduğu yarı-geçişimli bir polimerik ağ yapısı elde edildi. Elde edilen polimer (poliHIPE) kürelerinin morfolojik özellikleri mikroskopik görüntüleme teknikleri ile incelendi. Spesifik yüzey alanları ise elde edilen kürelerin N₂ adsorpsiyon/desorpsiyon izotermine Brunauer–Emmett–Teller (BET) denklemi uygulanarak hesaplandı.

Anahtar Kelimeler- *Emülsiyon kalıplama, Yüksek iç fazlı emülsiyon, poliHIPE küreleri*

^{1*}Sorumlu yazar iletişimi: bkekevi@yalova.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2364-1957>)

Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, Yalova Üniversitesi, Yalova Meslek Yüksekokulu, Yalova

²İletişim: hmert@yalova.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-4267-7469>)

Polimer ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Yalova Üniversitesi, Yalova

³İletişim: funda.cira.89@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-7694-2051>)

Polimer ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Yalova Üniversitesi, Yalova

Preparation of Methacrylate Based Spherical Polymers via High Internal Phase Emulsion Templating

ABSTRACT

Epoxy functional spherical polymer beads were synthesized by using precursor concentrated emulsions templates obtained by dispersing aqueous internal phase solution in the monomer mixture composed of glycidyl methacrylate (GMA) and 1,3-butandiol dimethacrylate having flexible groups. For this purpose, high internal phase emulsions (HIPEs) of GMA and BDDMA were obtained with the use of aqueous pullulan solutions as the internal phase. Polymerization step was achieved within the water/oil/water (w/o/w) systems that were prepared by dispersing precursor HIPEs in a secondary aqueous medium. On the other hand, by using aqueous pullulan solutions during the preparation of precursor emulsion templates, a semi-interpenetrating polymer network structure in which each individual phase or network retains their individual properties and causes synergistic interaction, was obtained. The morphological properties of the resulting polymer (polyHIPE) beads were investigated by using microscopic imaging techniques. The specific surface areas were calculated by applying Brunauer–Emmett–Teller (BET) equation to the N₂ adsorption/desorption isotherms of the resulting beads.

Keywords- *Emulsion templating, High internal phase emulsion, polyHIPE beads*

I. GİRİŞ

Yüksek iç fazlı emülsiyonlar (High Internal Phase Emulsion, HIPEs) iç faz hacmi toplam emülsiyon hacminin en az %74'ünü oluşturan konsantr emülsiyon sistemleridir. Bu oran düzgün, deforme olmamış küresel partiküller tarafından işgal edilen ve en etkin şekilde paketlenmenin gerçekleştiği maksimum hacmi temsil etmekle birlikte %99' a kadar çıkarılabilmektedir [1]. Bu tür emülsiyonların hazırlanabilmesi için birisi genellikle su (veya sulu çözelti) olan ve birbiri ile karışmayan iki sıvı faz gereklidir. HIPE'ler, uygun emülgatör(ler) varlığında dispers fazın sürekli faz içerisinde damlalar halinde dağıtılması yoluyla yağ-içinde-su (water-in-oil, w/o), ya da tam tersi yani su-içinde-yağ (oil-in-water, o/w) şeklinde hazırlanabilir [2]. Sürekli fazın monomer(ler) içermesi durumunda, HIPE'lerin uygun koşullar altında polimerleştirilmesi ve ardından dispers fazın uzaklaştırılması ile boşlukların etrafını saran sürekli bir polimer filmi oluşturulabilir. Elde edilen ağ yapılı bu polimerler ise yüksek gözenekliliğe sahip olup, açık hücreli bir morfoloji sergilerler. HIPE kalıplama yöntemi olarak tanımlanan bu yaklaşım, morfolojileri büyük ölçüde kontrol edilebilir polimerlerin hazırlanmasına olanak sağladığından, açık hücreli yapı polimerlerin hazırlanmasında kullanılan diğer tüm yaklaşımlara kıyasla daha fazla öne çıkmaktadır [3-5]. Bununla birlikte, bu yaklaşımın kullanılması ile hazırlanan polimerler literatürde poliHIPE olarak adlandırılmakta ve böylece gözeneklilik oluşturma yöntemleri ile sentezlenen diğer açık hücreli yapı polimerlerden de ayrılmaktadır [1-6].

PoliHIPE'ler iki düzeyli ve oldukça özel bir gözenek morfolojisine sahiptir. Küresel yapıli gözeneklerde birinci düzeyi daha büyük olan hücreler (veya boşluklar) (çapları genellikle 1-100 µm), ikinci düzeyi ise hücreleri birbirine bağlayan daha küçük boyutlu gözenek geçitleri (veya pencereler) oluşturur. Bu nedenle açık hücreli yapı sergileyen bu özel polimerlerde hiyerarşik gözenek dağılımı mevcuttur ve bu malzemeler oldukça düşük yoğunluktadır. PoliHIPE'lerde, küresel gözeneklerin çapları öncü HIPE kalıplarının damla boyutları ile neredeyse aynıdır. Bu durum sürekli fazdan polimer jel fazının ayrılma termodinamiği ile emülsiyon faz ayrılması yoluyla damlacık stabilizasyonu arasındaki mükemmel denge ile yönetilmektedir [7,8]. Genel olarak, poliHIPE'lerin morfolojik, mekanik ve diğer fiziksel özellikleri kullanılan öncü HIPE'lerin hazırlanması sırasında seçilen deneysel parametrelere (ör. faz oranları, karıştırma hızı, emülgatör oranı) bağlı olarak değişir [9].

PoliHIPE'ler özgül fiziksel özellikleri ile birlikte karmaşık prosesler ve yüksek maliyetler içermeyen hazırlama koşulları nedeniyle enerji ve gaz depolama [10-12], iyon değişimi [13-17], adsorpsiyon [18,19], kataliz [20-22] ve fotokataliz [23], enzim immobilizasyonu [24,25], proteinlerin saflaştırılması [26], doku mühendisliği [27-28], ısı enerji depolama [29] ve daha birçok uygulama oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir [3,4]. Bununla birlikte, poliHIPE'ler, HIPE'lerin uygun kalıplarda polimerleştirilmesi ile elde edildiğinden hedeflenen uygulama alanına yönelik olarak belirlenen boyutlarda ve formlarda hazırlanabilmektedir. Bu kapsamda emülsiyonların kalıplar içerisinde direkt polimerleştirilmesi ile monolitler elde edilirken, film hazırlama teknikleri kullanılarak belirli kalınlıktaki polimerik membranlar veya filmler elde edilebilmektedir [3-5]. Ayrıca, öncü HIPE'lerin uygun bileşimdeki sekonder bir sulu ortamda kontrollü olarak damlalar halinde dağıtılmasının ardından polimerleştirilmesi yoluyla küresel şekilli poliHIPE'ler de hazırlanabilmektedir [17,30]. PoliHIPE'lerin geliştirilmesi amacıyla literatürde yapılan çalışmaların önemli bir kısmı yüksek gözenekli yapının neden olduğu zayıf mekanik özelliklerin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu noktada, kullanılan farklı yaklaşımların poliHIPE'lerin gözenek morfolojisi ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmaktadır [9,19,23,31]. PoliHIPE'leri konu alan diğer çalışmalar ise büyük çoğunlukla gözenekli yapıları nedeniyle adsorpsiyon kapasitesi yüksek olan bu polimerlerin çeşitli kirleticilerin giderilmesindeki rolünün araştırılması üzerine yoğunlaşmaktadır [14-19,23,32].

Bu çalışmada ise biyolojik uygulamalarda (özellikle enzim immobilizasyonu ve protein saflaştırma gibi) kullanım potansiyeli olan, fonksiyonlandırma işlemleri için müsait gruplar taşıyan küresel polimer kompozitleri (poliHIPE küreleri) emülsiyon kalıplama yöntemi kullanılarak sentezlenmiştir. Küresel poliHIPE'lerin sentezinde kullanılan öncü HIPE'lerin sürekli fazı fonksiyonlandırmaya uygun epoksi halkasına sahip glisidil metakrilat (GMA) monomeri ile yapıya esneklik katan 1,3-bütandiol dimetakrilat (BDDMA) monomeri kullanılarak hazırlanmıştır. İç faz olarak ise, suda çözünebilir bir polisakkarit olan pullulanın farklı konsantrasyonlardaki sulu çözeltileri kullanılmıştır. Pullulan; toksik olmaması, çevreci yönü, çeşitli yağlara karşı kimyasal dayanım göstermesi, biyo-indirgen özelliği ile birlikte şeffaf, renksiz ve kokusuz oluşu ile de dikkat çeken doğal kaynaklı bir polimerdir. Bu özellikler sebebiyle de ısı ve mekanik etkilere karşı dayanım gösteren

ve oksijen bariyeri özelliğine sahip filmlerin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılır. Bunlara ek olarak, suda çözünerek viskoz ve berrak çözeltiler oluşturmasına rağmen metanol, aseton ve etanol gibi solventlerde çözünmemesi de uygulamalar açısından önemli bir avantaj yaratır. Dahası, polimer matrislerinin pullulan ile birleştirilmesi malzemelerin mekanik dayanımlarının belirgin bir şekilde geliştirilmesine katkı sağlar [33,34]. Bu çalışma ile HIPE kalıplarında iç faz olarak pullulan çözeltilerinin kullanılması yoluyla ilk kez küresel formdaki yarı-geçişimli polimerik ağ yapıları elde edilmiştir ve bu özel yapının elde edilen poliHIPE kürelerinin morfolojisi üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

II. MALZEMELER VE YÖNTEM

Küresel poliHIPE'lerin sentezlenmesinde kullanılan glisidil metakrilat (GMA, %97, Aldrich), 1,3-bütandiol dimetakrilat (BDDMA, %98, Aldrich), Pluronic L121 (poli(etilen glikol)-blok-poli(propilen glikol)-blok-poli(etilen glikol), \overline{M}_w :4400, Aldrich), pullulan (\overline{M}_w : 100000, Fluka), etanol (teknik), hidroksi etil selüloz (HEC, Aldrich), kalsiyum fosfat (CaPO_4 , Riedel de Haen) ve potasyum persülfat (KPS, Merck) herhangi bir saflaştırma işlemi yapılmadan kullanıldı. 2,2'-Azobisisobüronitril (AIBN, Merck) ise, etanolden kristallendirilerek kullanıldı. Gerçekleştirilen tüm denemelerde ultrasaf deiyonize su vakum altında degaz edildikten sonra kullanıldı.

PoliHIPE kürelerinin morfolojisi FEI-Philips XL30 ESEM-FEG (Philips, Eindhoven, The Netherlands) model Taramalı Elektron Mikroskopu (Scanning Electron Microscope, SEM) kullanılarak incelendi. Bu amaçla elde edilen poliHIPE küreleri metal ayaklar üzerine tutturulduktan sonra vakum altında altın ile iletken hale getirildi.

PoliHIPE kürelerinin partikül şekli ve boyutu Olympus System Metallurgical BX51M Microscope (Olympus Soft Imaging Solutions GmbH & Co.KG, Germany) Polarize Optik Mikroskop (POM) kullanılarak incelendi. Bu amaçla temiz bir lam üzerine sabitlenen örneklerin 5x büyütme ile POM görüntüleri kaydedildi. Kaydedilen görüntüler ortalama partikül boyutlarının ve boyut dağılımlarının hesaplanmasında kullanıldı. Bu amaçla, her numune için POM görüntüsünden en az 50 tane küresel poliHIPE partikülünün çapı ölçülerek aritmetik ortalaması ve standart sapması hesaplandı. Elde edilen sonuçlar kullanılarak küresel poliHIPE'lerin istatistiksel boyut dağılımları elde edildi.

PoliHIPE kürelerinin spesifik yüzey alanı Micromeritics Gemini VII 2390t Overall Automatic BET Surface Area and Pore Size Analyzer (Micromeritics Instrument Corporation, USA) cihazında kaydedilen N_2 adsorpsiyon/desorpsiyon izotermine BET denklemi uygulanarak hesaplandı. Numuneler analize Micromeritics Flow Prep 060 Sample Degas System (Micromeritics Instrument Corporation, USA) degaz istasyonunda 24 sa süreyle 80°C 'de degaz edilerek hazırlandı.

A. HIPE hazırlama

Küresel poliHIPE sentezinde kullanılan öncü HIPE'ler literatürde yer alan referans çalışmamız temel alınarak toplam emülsiyon hacmine göre %75 oranında iç faz kullanılarak hazırlandı [30]. Bu amaçla GMA (toplam monomer hacmine göre %90 oranında) ve BDDMA (toplam monomer hacmine göre %10 oranında) kullanıldı. HIPE'lerin sürekli fazı monomerlerin, emülgatörün (Pluronic L 121; %30 sürekli faz hacmine göre) ve başlatıcının (AIBN; %1 monomerlerin mol sayısına göre) yuvarlak dipli bir cam reaktörde karıştırılması ile elde edildi. Ardından sulu pullan çözeltisi (ağırlıkça %1, 3 veya 5 oranında pullulan ile hazırlanan) peristaltik pompa ile sabit karıştırma eşliğinde (300 rpm) sürekli faza eklendi. Pullulan çözeltisinin eklenmesinin ardından elde edilen krem benzeri öncü emülsiyonlar 15 dak daha sabit hızla karıştırıldı.

Emülsiyon bileşimine pullulan eklenmesinin elde edilen poliHIPE kürelerinin morfolojisi üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla referans numune olarak pullulan içermeyen GMA/BDDMA öncü HIPE'leri de hazırlandı. Bu amaçla yukarıda açıklanan prosedür, iç faz olarak pullulan çözeltisi yerine ultrasaf deiyonize su kullanılarak uygulandı.

B. Küresel poliHIPE sentezi

Küresel poliHIPE'ler 80°C'de sabitlenen çift cidarlı ve iki boyunlu cam reaktör sistemi içinde sentezlendi. Bu amaçla, öncü HIPE'ler polimerik bir stabilizatör, suda çözünen bir başlatıcı ve koruyucu kolloid içeren reaktör sistemine peristaltik pompa yardımı ile damlalar halinde gönderildi. Böylece polimerleştirme işlemi su-yağ-su (w/o/w) türündeki çift emülsiyon sistemleri içinde gerçekleştirildi [17]. Örnek bir denemede; hazırlanan öncü GMA/BDDMA/pullulan veya GMA/BDDMA HIPE'leri, deiyonize su (500 g), başlatıcı (KPS, ağırlıkça %0.1 oranında), CaPO₄ (ağırlıkça %0.1 oranında), suda çözünen polimerik stabilizatör (HEC veya pullulan; ağırlıkça %0.2, 0.6, veya 1.0 oranında) içeren reaktör ortamına sabit hızla karıştırma (200 rpm) eşliğinde damlalar halinde (50 rpm besleme hızı ile) eklendi ve 24 sa boyunca sabit hızla karıştırılarak çapraz bağlanma reaksiyonu gerçekleştirildi. Ardından elde edilen küreler süzülde, etanol ile yıkandı ve 50°C'deki vakum etüvünde kurutuldu.

III. BULGULAR

Küresel poliHIPE'ler, hazırlanan öncü HIPE'lerin 80°C'deki sekonder sisteme sabit karıştırma eşliğinde ve damlalar halinde eklenmesinin ardından elde edilen w/o/w sistemleri içerisinde çapraz bağlanması ile sentezlendi. Bu kapsamda öncelikle sekonder sulu ortamda kullanılan stabilizatörün küresel polimer yapısının oluşumuna etkisi araştırıldı. Bu çerçevede yapılan denemelerde öncü HIPE kalıbı olarak pullulan içermeyen GMA/BDDMA HIPE'leri kullanıldı. Gerçekleştirilen çalışmalarda öncelikle stabilizatör olarak HEC kullanılarak denemeler yapıldı. Ardından fiziksel özellikleri ve kimyasal yapısı nedeniyle pullulanın da benzer bir etki gösterebileceği göz önünde bulundurularak sekonder sulu ortamda stabilizatör olarak pullulan kullanılarak polimer sentezi gerçekleştirildi. Elde edilen küresel poliHIPE'lerin morfolojik yapıları POM ve SEM görüntüleri kullanılarak araştırıldı ve elde edilen görüntüler Şekil 1 ve 2'de sunuldu.

Şekil 1'de sunulan POM (sol sütun) ve SEM (sağ sütun) görüntülerinin incelenmesi sonucunda öncü HIPE damlalarının stabilizasyonunu sağlamak amacıyla kullanılan HEC miktarının partikül aglomerasyonunun önlenmesi yönünden oldukça önemli olduğu belirlendi. Buna göre, HEC konsantrasyonu ile partiküllerin aglomerasyon yönelimi arasında ters orantı olduğu gözlemlendi. Buna rağmen partikül boyutunun HEC konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak arttığı saptandı. Sentezlenen poli(GMA-ko-BDDMA) poliHIPE kürelerinin POM görüntülerinden yola çıkılarak hesaplanan boyut dağılımlarına göre: %1.0 oranında HEC ile stabilize edilen ortamda hazırlanan partiküllerinin yaklaşık olarak %5'inin 200–250 µm, %13'ünün 150–200 µm, %49'unun 100–150 µm, %25'inin ise 50–100 µm; %0.6 oranında HEC kullanılarak stabilize edilen ortamda ise yaklaşık %10'unun 200–250 µm, %8'inin 150–200 µm, %32'sinin 100–150 µm ve %27'sinin 50–100 µm aralığında değişen boyutlara sahip olduğu belirlendi. HEC oranı %0.2 olduğunda ise partikül boyutlarının %4'ünün 200–250 µm, %11'inin 150–200 µm, %40'ının 100–150 µm ve %41'inin 50–100 µm aralığında değiştiği saptandı.

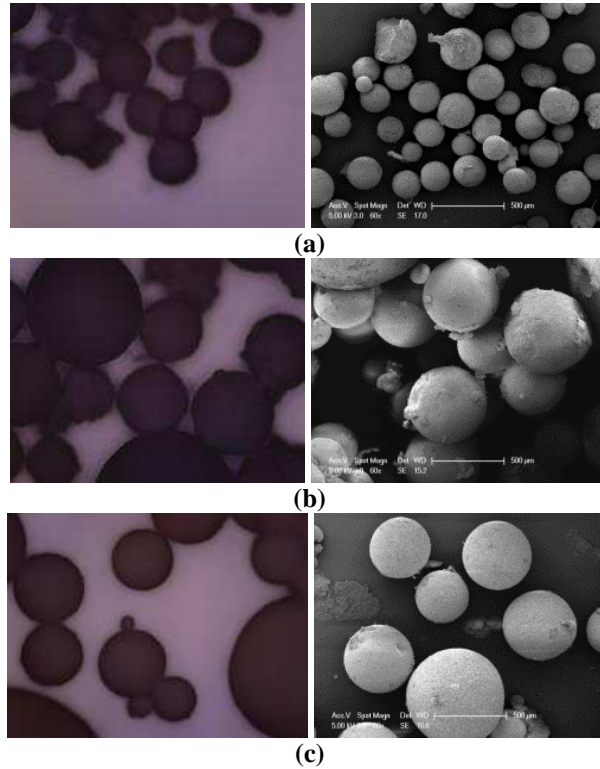
Stabilizatör olarak pullulan kullanılması ile sentezlenen poliHIPE kürelerinin Şekil 2'de sunulan POM (sol sütun) ve SEM (sağ sütun) görüntüleri incelendiğinde ise pullulan konsantrasyonu ile hem partiküllerin aglomerasyon yöneliminin hem de partikül boyutunun ters orantılı olarak değiştiği saptandı. Bununla birlikte, sekonder sulu ortamda pullulan kullanılmasının malzemelerin kırılgenliğini ve yüzey pürüzlülüğünü de arttırdığı gözlemlendi. Sentezlenen küresel yapıdaki poli(GMA-ko-BDDMA) poliHIPE'lerinin POM görüntüleri kullanılarak hesaplanan ortalama partikül boyutlarının değerlendirilmesi sonucunda ise %1.0 oranında pullulan kullanılarak stabilize edilen ortamda sentezlenen kürelerin yaklaşık olarak %19'unun 150–200 µm, %52'sinin 100–150 µm, %12'sinin 50–100 µm; %0.6 oranında pullulan kullanılarak sentezlenenlerin yaklaşık %10'unun 150–200 µm, %43'ünün 100–150 µm ve %32'sinin 50–100 µm; %0.2 oranında pullulan ile stabilize edilen ortamda sentezlenen partiküllerin ise yaklaşık %11'inin 150–200 µm, %48'inin 100–150 µm ve %28'inin 50–100 µm aralığında değişen boyutlara sahip olduğu belirlendi.

HEC veya pullulan ile kararlı kılınan sistemler üzerinden sentezlenen küresel yapıdaki poli(GMA-ko-BDDMA) poliHIPE'lerinin BET metodu ile ölçülen spesifik yüzey alanları (S_{BET}) Tablo 1'de sunuldu. Tablo 1'de sunulan bulguların incelenmesi sonucunda, elde edilen poliHIPE kürelerinin spesifik yüzey alanlarının, kullanılan stabilizatörün türüne bağlı olmaksızın artan stabilizatör miktarı ile ters orantılı olarak değiştiği

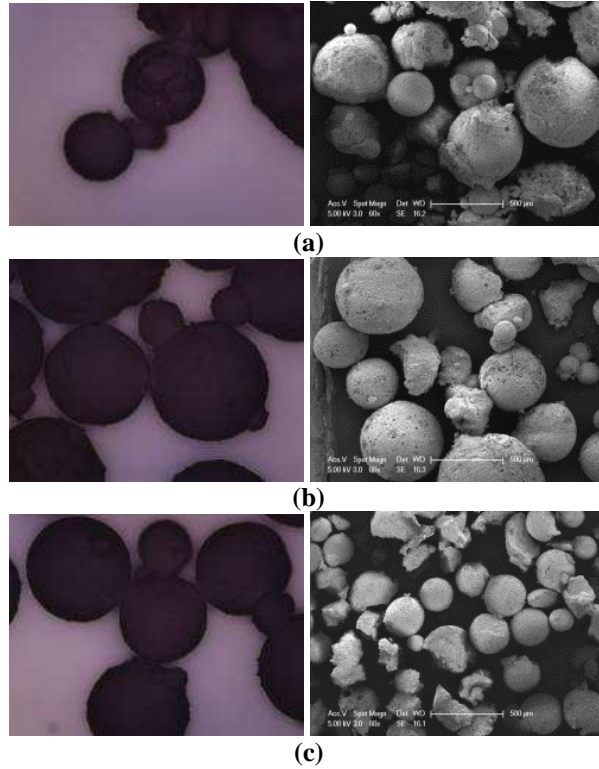
belirlendi. Bu durum, ortamda yüksek konsantrasyonlarda çözülmüş olarak bulunan polimerik stabilizatörün topaklanma eğilimine bağlı olarak açıklanabilmektedir.

Tablo 1. HEC veya pullulan ile stabilize edilen ortamlarda sentezlenen poli(GMA-*ko*-BDDMA) poliHIPE kürelerinin spesifik yüzey alanı.

Stabilizatör	Stabilizatör Oran (% Ağırlık)	S _{BET} (m ² g ⁻¹)
HEC	0.2	8.59
HEC	0.6	5.76
HEC	1.0	3.41
Pullulan	0.2	9.47
Pullulan	0.6	6.07
Pullulan	1.0	7.80



Şekil 1. (a) %0.2, (b) %0.6 ve (c) %1.0 oranında HEC ile stabilize edilen ortamda sentezlenen poliHIPE kürelerinin POM (sol sütun) ve SEM görüntüleri (sağ sütun - skala: 500 µm).



Şekil 2. (a) %0.2, (b) %0.6 ve (c) %1.0 oranında pullulan ile stabilize edilen ortamda sentezlenen poliHIPE kürelerinin POM (sol sütun) ve SEM görüntüleri (sağ sütun - skala: 500 µm).

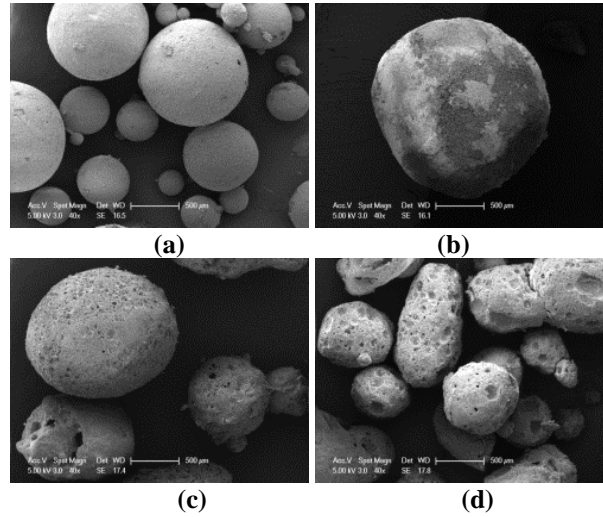
Öncü HIPE'lerin sürekli fazının pullulan ile birleştirilmesinin sentezlenen küresel poliHIPE'lerin morfolojik özellikleri üzerindeki etkileri, ağırlıkça %1 oranında HEC veya pullulan ile stabilize edilen sekonder sulu ortamda polimerleştirilmeleri yoluyla elde edilen yarı-geçişimli ağ yapıdaki küresel poli(GMA-ko-BDMMMA)/pullulan kompozitlerinin morfolojik özelliklerinin incelenmesi yoluyla aydınlatıldı. Bu amaçla, sentezlenen poliHIPE kompozitlerinin morfolojik özellikleri SEM ile incelendi. SEM görüntüleri üzerinden yapılan inceleme sonucunda küresel partiküllerin sentezinde kullanılan öncü HIPE sistemlerinin pullulan ile birleştirilmesi ile elde edilen kürelerin morfolojik özelliklerinin dikkat çekici bir şekilde değiştiği gözlemlendi. Şekil 3'de sunulan ve pullulan kullanılarak hazırlanan öncü HIPE'lerin HEC ile stabilize edilen ortamda polimerleştirilmesi ile elde edilen poli(GMA-ko-BDDMA)/pullulan yapılu küresel poliHIPE kompozitlerinin SEM görüntüleri incelendiğinde, küre yapısının artan pullulan konsantrasyonunun bir sonucu olarak belirgin bir şekilde deforme olduğu belirlendi. Bununla birlikte elde edilen küresel poliHIPE partiküllerinin Tablo 2'de sunulan spesifik yüzey alanlarının karşılaştırılması sonucunda, bileşiminde %1 oranında pullulan bulunan öncü HIPE'lerden elde edilen küresel kompozitlerin spesifik yüzey alanının pullulan içermeyen örneklerle kıyasla 2.5 kat daha yüksek olduğu tespit edildi. Buna rağmen, öncü HIPE bileşiminde kullanılan pullulan miktarı ile elde edilen küresel poliHIPE kompozitlerinin spesifik yüzey alanının ters orantılı olarak değiştiği saptandı. Bu durum, öncü emülsiyonlardaki pullulan miktarının artması ile HEC ve pullulan arasındaki etkileşimin artması ve bunun sonucunda ortamında çözünmüş olarak bulunan HEC'in topaklaşmasına bağlı olarak koloidal kararlılığın azalması ve HIPE damlalarının aglomere olması ile açıklanabilir. Koloidal kararlılıktaki azalmaya bağlı olarak elde edilen poliHIPE'lerin partikül şekil ve boyutunda ortaya çıkan deformasyon Şekil 3'de sunulan SEM görüntülerinde de açıkça görülmektedir.

Stabilizatör olarak dağıtıcı ortamda %1.0 oranında pullulan kullanılması yoluyla sentezlenen poliHIPE kürelerinin Şekil 4'de sunulan SEM görüntüleri incelendiğinde ise, öncü HIPE'lerde farklı oranlarda pullulan kullanılmasının partikül şekli üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı ancak partikül boyutlarının artmasına neden olduğu belirlendi. Bununla birlikte Tablo 2'de sunulan spesifik yüzey alanı değerleri karşılaştırıldığında,

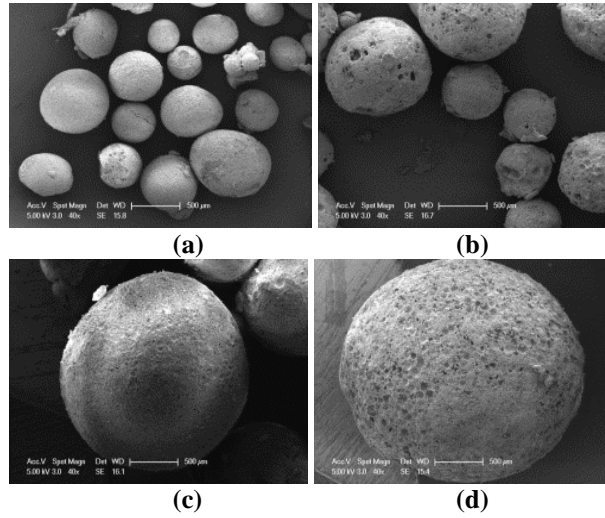
%1 oranında pullulan içeren poliHIPE kürelerinin spesifik yüzey alanının pullulan kullanılmadan hazırlanan öncü HIPE'den elde edilen poliHIPE'lerle karşılaştırıldığında hafifçe azaldığı, bununla birlikte öncü HIPE bileşimindeki pullulan miktarının artmasının spesifik yüzey alanlarında önemli bir değişime neden olmadığı saptandı.

Tablo 2. Stabilizatör olarak %1.0 oranında HEC veya pullulan kullanılarak hazırlanan poli(GMA-*ko*-BDDMA)/pullulan poliHIPE kürelerinin spesifik yüzey alanı.

Stabilizatör	Öncü HIPE'nin Pullulan Oranı (% Ağırlık)	S _{BET} (m ² g ⁻¹)
HEC	0	3.41
HEC	1	8.57
HEC	3	7.70
HEC	5	6.12
Pullulan	0	7.80
Pullulan	1	6.00
Pullulan	3	6.62
Pullulan	5	6.34



Şekil 3. %1.0 oranında HEC stabilizatörü kullanılarak sentezlenen poli(GMA-*ko*-BDDMA)/pullulan poliHIPE kürelerinin SEM görüntüsü: öncü HIPE bileşiminde ağırlıkça (a) %0, (b) %1, (c) %3 ve (d) %5 oranında pullulan kullanılarak sentezlenen polimer partikülleri (skala: 500 µm).



Şekil 4. %1.0 oranında pullulan stabilizatörü kullanılarak sentezlenen poli(GMA-ko-BDDMA)/pullulan poliHIPE kürelerinin SEM görüntüsü: öncü HIPE bileşiminde ağırlıkça (a) %0, (b) %1, (c) %3 ve (d) %5 oranında pullulan kullanılarak sentezlenen polimer partikülleri (skala: 500 µm).

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

PoliHIPE'ler özgün gözenek morfolojilerinin sağladığı avantajlardan dolayı pek çok farklı alanda kullanım potansiyeli olan malzemelerdir ve fonksiyonlandırmaya uygun kimyasal gruplar içeren poliHIPE'lerin sentezi oldukça önem taşımaktadır. Bu noktada GMA, reaktif epoksi gruplarının varlığı nedeniyle fonksiyonel poliHIPE sentezinde tercih edilen bir monomerdir. Ancak GMA'nın polar yapısı kararlı emülsiyonların hazırlanmasını güçleştirmektedir. Bu durum özellikle sekonder bir sulu sistem içinde öncü HIPE'lerin damlalar halinde dağıtılarak polimerleştirilmesi yoluyla poliHIPE kürelerinin hazırlanmasında büyük bir dezavantaj yaratmaktadır. Ayrıca poliHIPE'lerin, yüksek gözeneklilik sebebiyle oldukça zayıf olan mekanik dayanımları da uygulama özellikleri açısından büyük bir sorun oluşturmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışmada, polimer matrisine kazandırdığı kimyasal fonksiyonluluğu sebebiyle GMA monomer ve yapıya esneklik kazandıran grupları sayesinde polimer matrisin kırılma dayanımını azaltan BDDMA ise çapraz bağlayıcı komonomer olarak kullanılmıştır. Her ikisi de hidrofilik karaktere sahip bu iki monomer ile ortam polaritesinin emülsiyon kararlılığı üzerindeki olumsuz etkisine rağmen poliHIPE küreleri başarıyla sentezlenmiştir. Bununla birlikte, lineer bir homopolisakkarit olan pullulanın farklı konsantrasyonlardaki sulu çözeltilerinin iç faz olarak kullanılması ile literatürde ilk kez yarı-geçişimli ağ yapıda poliHIPE kürelerinin sentezi de gerçekleştirilmiştir. Tüm bunların yanı sıra, bu çalışma ile pullulanın öncü HIPE'lerin sekonder bir sulu ortamda dağıtılarak damlalar halinde polimerleştirilmesinde kararlılığın sağlanması açısından stabilizatör olarak önemli bir görev üstlendiği de ispatlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Çalışmamıza sağladıkları destekten ötürü TÜBİTAK'a (TÜBİTAK Proje No: 113Z465) ve Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje No: 2013/YL/015) teşekkür ederiz

KAYNAKLAR

- [1] Cameron, N. R., & Sherrington, D. C. (1996). *High Internal Phase Emulsions (HIPEs) – Structure, Properties and Use in Polymer Preparation*. ss. 163-214. *Advances in Polymer Science Book Series (Polymer, Volume 126)*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 214s.
- [2] Cameron, N. R. (2005). *High Internal Phase Emulsion Templating as a Route to Well-defined Porous Polymers*. *Polymer*, 46, 1439–1449.

- [3] Silverstein, M. S. (2014). *Emulsion-Templated Porous Polymers: A Retrospective Perspective*. *Polymer*, 55, 304-320.
- [4] Silverstein, M. S. (2014). *PolyHIPEs: Recent Advances in Emulsion-Templated Porous Polymers*. *Progress in Polymer Science*, 39, 199-234.
- [5] Silverstein, M. S. (2017). *Emulsion-Templated Polymers: Contemporary Contemplations*. *Polymer*, 126, 261-282.
- [6] Barby, D., & Haq, Z. (1982). *Low Density Porous Cross-linked Polymeric Materials and Their Preparation*. European Patents 0,060,138 (to Unilever).
- [7] Pulko, I., & Krajnc, P. (2012). *High Internal Phase Emulsion Templating – A Path to Hierarchically Porous Functional Polymers*. *Macromolecular Rapid Communications*, 33, 1731–1746.
- [8] Zhang, T., Sanguramath, R. A., Israel, S., & Silverstein, M. S. (2019). *Emulsion Templating: Porous Polymers and Beyond*. *Macromolecules*, 52, 5445–5479.
- [9] Mert, H. H., Mert, M. S., & Mert, E. H. (2019). *A Statistical Approach for Tailoring the Morphological and Mechanical Properties of Polystyrene PolyHIPEs: Looking through Experimental Design*. *Materials Research Express*, 6 (11) 115306.
- [10] Oschatz, M., Borchardt, L., Thommes, M., Cychosz, K. A., Senkovska, I., Klein, N., Frind, R., Leistner, M., Presser, V., Gogotsi, Y., & Kaskel, S. (2012). *Carbide-Derived Carbon Monoliths with Hierarchical Pore Architectures*. *Angewandte Chemie International Edition*, 51, 7577–7580.
- [11] Oschatz, M., Borchardt, L., Senkovska, I., Klein, N., Leistner, M., & Kaskel, S. (2013). *Carbon dioxide Activated Carbide-Derived Carbon Monoliths as High Performance Adsorbents*. *Carbon*, 56, 139-145.
- [12] Deshmukh, A. B., Nalawade, A. C., Karbhal, I., Qureshi, M. S., & Shelke, M. V. (2018). *Electrochemical Capacitive Energy Storage in PolyHIPE Derived Nitrogen Enriched Hierarchical Porous Carbon Nanosheets*. *Carbon*, 128, 287-295.
- [13] Wakeman, R. J., Bhumgara, Z. G., & Akay, G. (1998). *Ion Exchange Modules Formed from Polyhipe Foam Precursors*. *Chemical Engineering Journal*, 70, 133-141.
- [14] Alikhani, M., & Moghbeli, M. R. (2014). *Ion-Exchange PolyHIPE Type Membrane for Removing Nitrate Ions: Preparation, Characterization, Kinetics and Adsorption Studies*. *Chemical Engineering Journal*, 239, 93–104.
- [15] Barlık, N., Keskinler, B., Kocakerim, M. M., & Akay, G. (2015). *Surface Modification of Monolithic PolyHIPE Polymers for Anionic Functionality and Their Ion Exchange Behavior*. *Journal of Applied Polymer Science*, 132, 42286-42293.
- [16] Mert, E. H., Kaya, M. A., & Yıldırım, H. (2012). *Preparation and Characterization of Polyester–Glycidyl Methacrylate PolyHIPE Monoliths to Use in Heavy Metal Removal*. *Design Monomers Polymers*, 15, 113-126.
- [17] Mert, E. H., & Yıldırım, H. (2014). *Porous Functional Poly(unsaturated polyester-co-glycidyl methacrylate-co-divinylbenzene) PolyHIPE Beads through w/o/w Multiple Emulsions: Preparation, Characterization and Application*. *e-Polymers*, 14(1), 65-73.
- [18] San, N., Mert, E. H., Kaya, D., & Çıra, F. (2016). *Adsorption Characteristics, Isotherm and Kinetics of a Novel PolyHIPE/Pullulan Composite For Removing Congo Red Dye*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25 (9), 3635-3645.

- [19] Yüce, E., Mert, E. H., Şen, S., Saygı, S., & San, N. (2017). *Properties and Applications of Nanoclay Reinforced Open-Porous Polymer Composites*. Journal of Applied Polymer Science, 134, 45522-45532.
- [20] Kovačić, S., Mazaj, M., Ješelnik, M., Pahovnik, D., Žagar, E., Slugovc, C., & Logar, N. Z. (2015). *Synthesis and Catalytic Performance of Hierarchically Porous MIL-100(Fe)@polyHIPE Hybrid Membranes*. Macromolecular Rapid Communications, 36, 1605–1611.
- [21] Koler, A., Paljevac, M., Cmager, N., Iskra, J., Kolar, M., & Krajnc, P. (2017). *Poly(4-vinylpyridine) PolyHIPEs as Catalysts for Cycloaddition Click Reaction*. Polymer, 126, 402-407.
- [22] Yuan, W., Chen, X., Xu, Y., Yan, C., Liu, Y., Lian, W., Zhou Y., & Li, Z. (2018). *Preparation and Recyclable Catalysis Performance of Functional Macroporous PolyHIPE Immobilized with Gold Nanoparticles on its surface*, Royal Society of Chemistry Advances, 8, 5912-5919.
- [23] Yüce, E., Mert, E. H., Krajnc, P., Parin, F. N., San, N., Kaya, D., & Yıldırım, H. (2017). *Photocatalytic Activity of Titania/Polydicyclopentadiene PolyHIPE Composites*. Macromolecular Materials and Engineering, 302 (10), 1700091-1700099.
- [24] Ruan, G., Wu, Z., Huang, Y., Wei, M., Su, R., & Du, F. (2016). *An Easily Regenerable Enzyme Reactor Prepared from Polymerized High Internal Phase Emulsions*. Biochemical and Biophysical Research Communications, 473, 54-60.
- [25] Kimmins S. D., Wyman, P., & Cameron, N. R. (2014). *Amine-functionalization of Glycidyl Methacrylate-Containing Emulsion-Templated Porous Polymers and Immobilization of Proteinase K for Biocatalysis*. Polymer, 55, 416-425.
- [26] Pulko, I., Smrekar, V., Podgornik, A., & Krajnc, P. (2011). *Emulsion Templated Open Porous Membranes for Protein Purification*. Journal of Chromatography A, 1218, 2396–2401.
- [27] Barbeta, A., Dentini, M., Zannoni, E. M., & De Stefano, M. E. (2005). *Tailoring the Porosity and Morphology of Gelatin-Methacrylate PolyHIPE Scaffolds for Tissue Engineering Applications*. Langmuir, 21(26), 12333–12341.
- [28] Christenson, E. M., Soofi, W., Holm, J. L., Cameron, N. R., & Mikos, A. G. (2007). *Biodegradable Fumarate-Based PolyHIPEs as Tissue Engineering Scaffolds*. Biomacromolecules, 8 (12), 3806–3814.
- [29] Mert, H. H. (2020). *PolyHIPE Composite Based-form Stable Phase Change Material for Thermal Energy Storage*. International Journal of Energy Research, 1-12.
- [30] Stefanec, D., & Krajnc, P. (2005). *4-Vinylbenzyl Chloride Based Porous Spherical Polymer Supports Derived from Water-in-Oil-in-Water Emulsions*. Reactive and Functional Polymers, 65 (1– 2), 37– 45.
- [31] Yüce, E., Parin, F. N., Krajnc, P., Mert, H. H., & Mert, E. H. (2018). *Influence of Titania on the Morphological and Mechanical Properties of 1,3-Butanediol Dimethacrylate based PolyHIPE Composites*. Reactive and Functional Polymers, 130, 8–15.
- [32] Taylor, K.M.L., Pribyl, P., & Pribyl, J. G. (2019). *PolyHIPEs for Separations and Chemical Transformations: A Review*. Solvent Extraction and Ion Exchange, 37 (1), 1 –26.
- [33] Fernandes, S. C. M., Sadocco, P., Causio, J., Silvestre, A. J. D., Mondragon, I., & Freire, C. S. R. (2014). *Antimicrobial Pullulan Derivative Prepared by Grafting with 3-Aminopropyltrimethoxysilane: Characterization and Ability to Form Transparent Films*. Food Hydrocolloids, 35, 247-252.
- [34] Çira F., & Mert, E. H. (2015). *PolyHIPE/Pullulan Composites Derived from Glycidyl Methacrylate and 1,3-Butanediol Dimethacrylate-Based High Internal Phase Emulsions*. Polymer Engineering and Science, 55, 2636-2642.

Araştırma Makalesi - Research Article

Co Katkılı SnO₂ Numunelerinin Sentez ve Karakterizasyonu

Tankut Ates^{1*}, Omer Kaygılı², Niyazi Bulut³, H.E. Okur⁴, Serhat Keser⁵, I.S. Yahia^{6,7}, Suleyman Koytepe⁸, Turgay Seckin⁹, Imren Ozcan¹⁰, Turan İnce¹¹

Geliş / Received: 01/04/2020

Revize / Revised: 30/04/2020

Kabul / Accepted: 08/05/2020

ÖZ

Yüksek kristalleşmeye sahip katkısız ve Co katkılı SnO₂ numuneleri başarılı bir biçimde hazırlandı. Co içeriğinin SnO₂'nin termal ve morfolojik özellikleri üzerine etkileri araştırıldı. Co ilavesiyle Kristal büyüklüğünde ve birim hücre parametrelerinde değişimler tespit edildi. Co ilavesiyle faz bileşimi değişmedi. Hem X-ışını kırınımı hem de Fourier dönüşümlü kızılötesi sonuçları her bir numune için SnO₂ fazının oluşumunu doğruladı. Üretilen numunelerin oda sıcaklığından 900 °C'ye kadar termal kararlılığı gözlemlendi. Morfoloji Co içeriğinden etkilendi ve enerji dağılımlı X-ışını sonuçları SnO₂ yapısı içerisine Co'ın nüfuz ettiğini doğruladı.

Anahtar Kelimeler- Kristal yap, Elektron mikroskopu, IR, X-ışını difraksiyon

^{1*} Sorumlu yazar iletişim: tankut.ates@ozal.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4519-2953>)

Department of Engineering Basic Sciences, Turgut Ozal University, 44210 Malatya, Turkey

² İletişim: omerkaygili@yahoo.com (<https://orcid.org/0000-0002-2321-1455>)

Department of Physics, Faculty of Science, Firat University, 23119 Elazığ, Turkey

³ İletişim: bulut_niyazi@yahoo.com (<https://orcid.org/0000-0003-2863-7700>)

Department of Physics, Faculty of Science, Firat University, 23119 Elazığ, Turkey

⁴ İletişim: esma.okur@btu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3439-0716>)

Department of Chemistry, Bursa Technical University, 16310 Bursa, Turkey

⁵ İletişim: serhatkeser@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-9678-1053>)

Department of Chemistry, Faculty of Science, Firat University, 23119 Elazığ, Turkey

⁶ İletişim: dr_isyahia@yahoo.com (<https://orcid.org/0000-0002-9855-5033>)

Nanoscience Laboratory for Environmental and Bio-medical Applications (NLEBA), Metallurgical Lab.1. Department of Physics, Faculty of Education, Ain Shams University, Roxy, 11757 Cairo, Egypt.

⁷ Advanced Functional Materials & Optoelectronic Laboratory (AFMOL), Department of Physics, Faculty of Science, King Khalid University, P.O. Box 9004, Abha, Saudi Arabia.

⁸ İletişim: suleyman.koytepe@inonu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4788-278X>)

Department of Chemistry, Faculty Science & Arts, Inonu University, 44280 Malatya, Turkey

⁹ İletişim: turgay.seckin@inonu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-8483-7366>)

Department of Chemistry, Faculty Science & Arts, Inonu University, 44280 Malatya, Turkey

¹⁰ İletişim: imrenozcan@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-3853-9373>)

Department of Chemistry, Faculty Science & Arts, Inonu University, 44280 Malatya, Turkey

¹¹ İletişim: trince23@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-7885-1882>)

Department of Physics, Faculty of Science, Firat University, 23119 Elazığ, Turkey

Synthesis and Characterization of Co-Doped SnO₂ Samples

ABSTRACT

The un-doped and Co-doped SnO₂ samples having high crystallinity were successfully prepared. The effects of Co content on the structural, thermal and morphological properties of SnO₂ were investigated. Changes in the crystallite size and unit cell parameters were detected with adding of Co. The phase composition did not alter with the addition of Co. Both X-ray diffraction and Fourier transform infrared results confirmed the formation of the SnO₂ structure for each sample. The thermal stability of the as-produced samples from room temperature to 900 °C was observed. The morphology was affected by Co content, and energy dispersive X-ray results verified the introduction of Co into the SnO₂ structure.

Keywords- *Crystal structure, Electron microscopy, IR, X-ray diffraction*

I. INTRODUCTION

Metal oxide structures have been gained great importance in optoelectronic, magnetic, and sensing applications for long years [1,2]. Among these structures, tin (IV) oxide or stannic oxide (SnO_2) is, without a doubt, one of the most popular ones. As known, SnO_2 is an n-type metal oxide semiconductor, having a high carrier concentration, and has a wide optical bandgap, ranging from 3.6 to 4.0 eV, and high transmittance in the visible region [3,4]. SnO_2 is a very stable material both chemically and thermally [5]. SnO_2 has been used in the gas sensing applications (especially in the detection of the flammable, toxic and corrosive gases), lithium-ion batteries, anti-refractive coatings, transparent conducting electrodes, light-emitting diodes, solar cells, transistors, flat panel displays, catalysts, supercapacitors, memristors and so on due to its superior electrical, optical and electrochemical properties [6-16].

The previous studies show that doping of materials with foreign atoms is an effective approach to modify the structural, thermal, and morphological properties for consequent tuning of their characteristic properties [17-19]. In this context, the doping of some elements, such as Ni, B, Fe, Au, Ca, and Co, into the SnO_2 structure has been carried out for improving its characteristic properties. In this way, some properties, such as the gas sensing and/or lithium storage abilities, of SnO_2 can be controlled and improved for its further applications [20,21]. Co-doped SnO_2 was used as lithium-ion anode material by Ma *et al.* [22]. A theoretical study on the magnetic properties of Co-doped SnO_2 was done by Luo and Sun [23]. The effect of the surfactant of cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) on the magnetic and optic properties of Co-doped SnO_2 prepared by the co-precipitation route as studied by Jiang *et al.* [24]. The catalytic performances of Co-doped SnO_2 synthesized via an eco-friendly KA oil (mixture of cyclohexanol and cyclohexanone) synthesis were investigated by Silva *et al.* [25].

In the present study, we aimed to synthesize the pure and Co-doped SnO_2 samples at various amounts (e.g., 0, 0.25, 0.50 and 1.00 at.%) and determine the effects of the Co content on the structural, thermal properties and morphology of the SnO_2 structure using the experimental techniques of X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared (FTIR), differential thermal analysis (DTA), thermogravimetric analysis (TGA), scanning electron microscopy (SEM), and energy-dispersive X-ray (EDX). For this purpose, with a different method than the above-mentioned ones reported in the literature, we produced four SnO_2 samples via using a facile wet chemical method. All the characterization results were reported in detail.

II. MATERIALS AND METHOD

All the chemicals were purchased from Sigma-Aldrich and were used without any further purification. 100 mL of (25.00- x) mmol of tin (IV) chloride pentahydrate ($\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) and x mmol of cobalt (II) nitrate hexahydrate ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) were dissolved in ethanol, where x is 0, 0.25, 0.50 and 1.00. Hereafter, the samples were called as the pure SnO_2 , 0.25Co- SnO_2 , 0.50Co- SnO_2 and 1.00Co- SnO_2 , respectively. Each solution was stirred without heating for 1 h and dried in an oven at 60 °C for 70 h. The as-dried powders were calcined in an electric furnace under an ambient atmosphere at 900 °C for 2.5 h.

The characterization of the samples was carried out using X-ray diffraction (XRD, Rigaku RadB-DMAX II) analysis, Fourier transform infrared (FTIR, Perkin Elmer Spectrum One) spectroscopy, differential thermal analysis (Shimadzu DTA 50), thermogravimetric analysis (Shimadzu TGA 50), scanning electron microscopy (SEM, LEO EVO 40xVP) and energy dispersive X-ray (EDX, Röntech xflash) spectroscopy techniques.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. XRD Results

Fig. 1 shows the XRD patterns of the as-manufactured samples. For all the samples, the single-phase distribution of polycrystalline SnO_2 (JCPDS PDF No: 41-1445) structure with the tetragonal crystal system is observed. No secondary phase formation is detected with an increasing amount of Co. The peaks belonging to the planes of (110), (101), (200), (111), (211), (220), (002), (310), (112), (301), (202) and (321) were observed

for each sample. With the addition of Co, some variations in the intensity of the as-mentioned peaks were seen, and this indicates the introduction of Co into the SnO₂ structure [26].

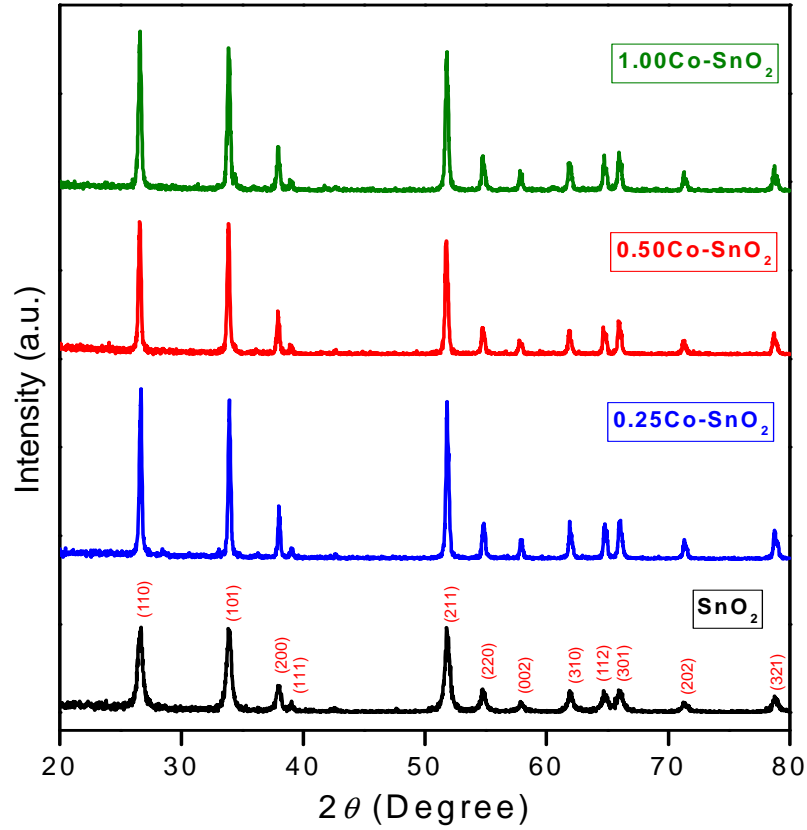


Fig. 1. XRD patterns of the samples

The lattice parameters (a and c), unit cell volume (V) and crystallite size (D) were calculated from the following equations, respectively [27]:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (1)$$

$$V = a^2c \quad (2)$$

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3)$$

where h , k , and l are the Miller indices, d is the distance for two adjacent planes, β is the full width at half maximum (FWHM), θ is the Bragg angle and λ is the X-ray wavelength, which is equal to 0.15406 nm for CuK_α radiation. The significant variations in the lattice parameters, unit cell volume, and crystallite size values are clearly seen in Table 1. The changes in the peak intensities and calculated parameters may be related to the charge imbalance between Co^{2+} and Sn^{4+} ions and their ionic radii (0.058 nm for Co^{2+} and 0.069 nm for Sn^{4+}) [28].

Table 1. The calculated values of the D , a , c and V for each sample.

	Pure SnO ₂	0.25Co-SnO ₂	0.50Co-SnO ₂	1.00Co-SnO ₂
D (nm)	21.80	34.59	30.46	28.74
a (nm)	0.473146	0.473332	0.473909	0.473666
c (nm)	0.318424	0.318471	0.318878	0.318666
V (nm ³)	0.071285	0.071351	0.071617	0.071496

B. FTIR Results

FTIR spectra of the pure and Co-doped SnO₂ samples are shown in Fig. 2. The as-detected bands and their assignments are given as follows: Two sharp bands observed at 463 and 604 cm⁻¹ are related to the vibration modes of O-Sn-O bonds belonging to the SnO₂ structure [29]. The as-observed bands confirm the formation of the SnO₂ structure for each sample.

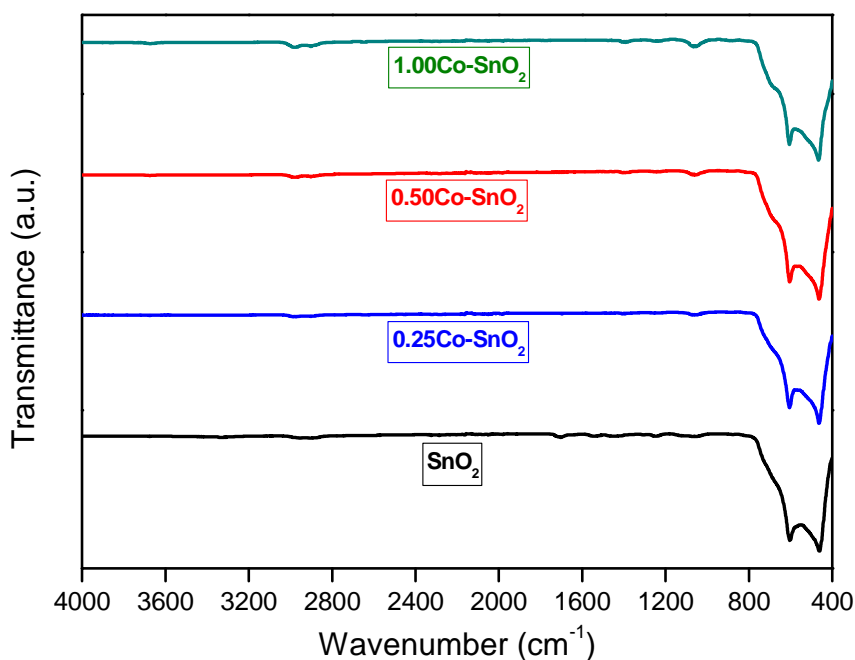


Fig. 2. FTIR spectra

C. Thermal Analysis Results

DTA and TGA curves of the as-obtained samples are shown in Figs. 3 and 4, respectively. From 25 to 800 °C, no peak was observed, and all the samples are thermally stable in this temperature range. In addition, the mass gain for each sample was seen in this temperature interval. The net mass gains, which are possibly due to oxidation, at 800 °C are found to be 1.03, 1.00, 1.10 and 1.38% for SnO₂, 0.25Co-SnO₂, 0.50Co-SnO₂ and 1.00Co-SnO₂, respectively (Fig. 4).

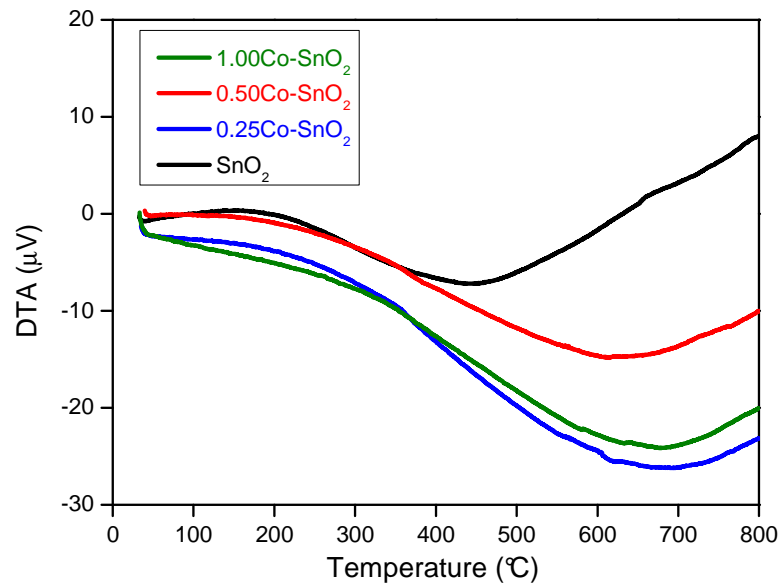


Fig. 3. DTA curves of the samples

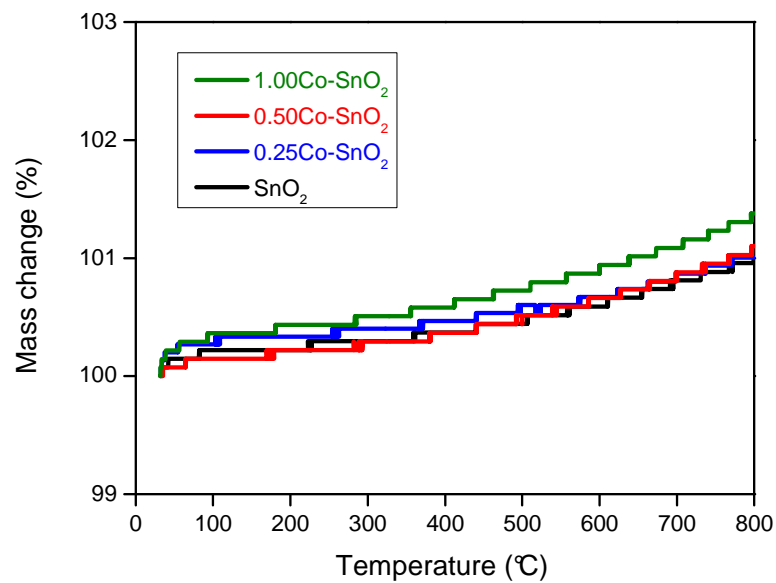


Fig. 4. TGA curves of the pure and Co-doped SnO₂ samples.

D. Morphological investigation

By investigating the SEM images of the samples shown in Fig. 5, it is seen that all the samples have porous microstructure. This can be considered as an advantageous feature, leading to a fast response and quick recovery, to the use of each sample in the gas sensing applications [30]. Furthermore, the EDX reports confirm the introduction of Co-ions into the SnO₂ structure.

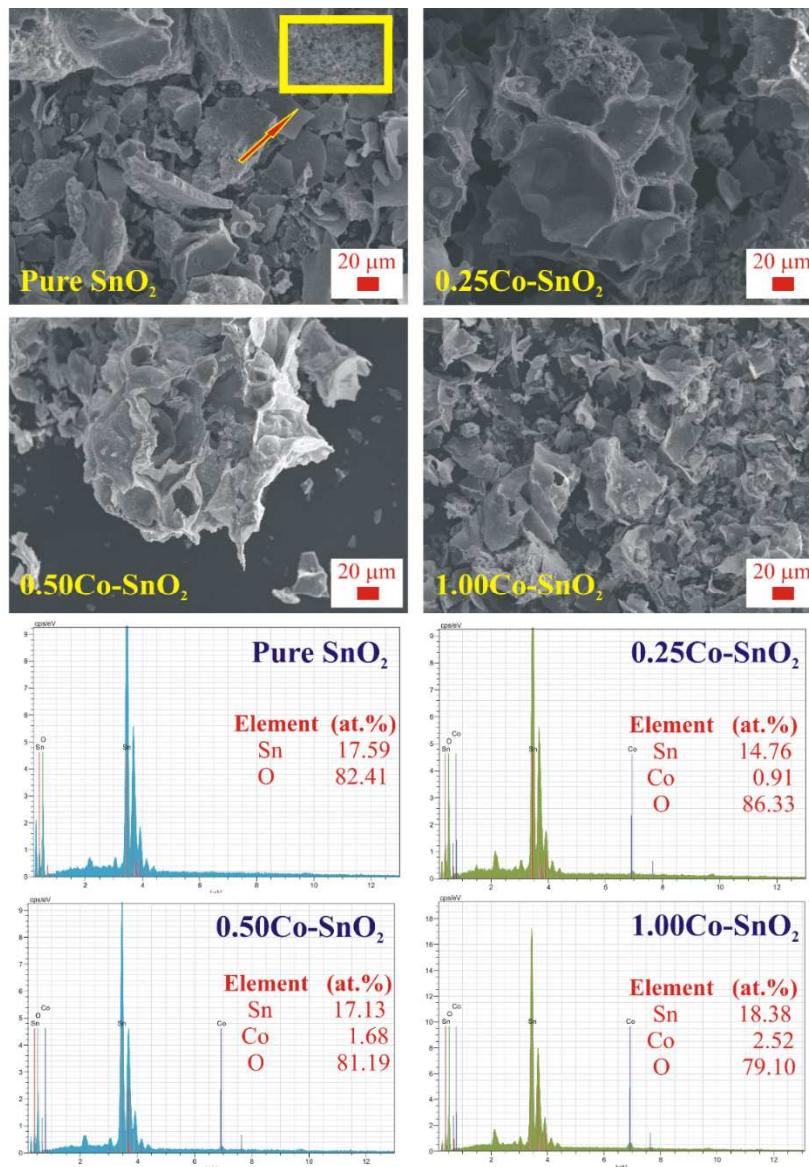


Fig. 5. SEM images and EDX reports of the as-produced SnO₂ samples.

IV. CONCLUSION

The pure and Co-doped SnO₂ samples with high crystallinity were easily produced at 900 °C via wet chemical synthesis. The effects of the amount of Co on the structural, thermal and morphological properties of SnO₂ were investigated using XRD, FTIR, DTA, TGA and SEM techniques. Last, the following results were observed. Single-phase distribution of SnO₂ for each sample is seen and no secondary phase formation is detected with adding of Co, but small changes in the peak intensities are observed from the XRD patterns of the as-manufactured samples. Moreover, the values of the crystallite size, lattice parameters, and volume of the unit cell are significantly affected by Co content. All the samples are thermally stable in the temperature range from 25 to 800 °C. No mass loss is observed within this temperature interval. The negligible mass gains, which are not exceeded the value of % 1.38, are detected for all the samples. The morphology is affected by Co content, and EDX data confirm the influence of Co into the SnO₂ structure. Additionally, the morphological observations also support that all the samples can be good nominates for gas sensing applications.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors extend their appreciation to the Deanship of Scientific Research at King Khalid University for funding this work through research groups program under Grant No. R.G.P.2/65/40. This work was also supported by the Management Unit of Scientific Research projects of Firat University (FÜBAP) (Project Number: FF.18.20).

REFERENCES

- [1] Xu, L., Zeng, W., & Li, Y. (2018). Synthesis of morphology and size-controllable SnO₂ hierarchical structures and their gas-sensing performance. *Appl. Surf. Sci.*, 457, 1064–1071.
- [2] Das, S., & Jayaraman, V. (2014). SnO₂: A comprehensive review on structures and gas sensors. *Prog. Mater. Sci.*, 66, 112–255.
- [3] Palakawong, N., Sun, Y.Y., Thienprasert, J.T., Zhang, S., & Limpijumngong, S. (2017). Ga acceptor defects in SnO₂ revisited: A hybrid functional study. *Ceram. Int.*, 43, S364–S368.
- [4] Jiang, Q., Zhang, X., & You, J. (2018). SnO₂: A wonderful electron transport layer for perovskite solar cells. *Small*, 14, 1-14.
- [5] Yu, S., Zheng, H., Li, L., & Chen, S. (2017). Highly conducting and transparent antimony doped tin oxide thin films: The role of sputtering power density. *Ceram. Int.*, 43, 5654–5660.
- [6] Manikandan, K., Dhanuskodi, S., Thomas, A.R., Maheswari, N., Muralidharan, G., & Sastikumar, D., (2016). Size–strain distribution analysis of SnO₂ nanoparticles and their multifunctional applications as fiber optic gas sensors, supercapacitors and optical limiters. *RSC Adv.*, 6, 90559–90570.
- [7] Liu, D., Pan, J., Tang, J., Liu, W., Bai, S., & Luo, R., (2019). Ag decorated SnO₂ nanoparticles to enhance formaldehyde sensing properties. *J. Phys. Chem. Solids.*, 124, 36–43.
- [8] Bhatnagar, M., Dhall, S., Kaushik, V., Kaushal, A., & Mehta, B.R., (2017). Improved selectivity of SnO₂:C alloy nanoparticles towards H₂ and ethanol reducing gases; role of SnO₂:C electronic interaction, sensor. *Actuat. B-Chem.*, 246, 336–343.
- [9] Wang, H., Jiang, G., Tan, X., Liao, J., Yang, X., Yuan, R., & Chai, Y., (2018). Simple preparation of SnO₂/C nanocomposites for lithium ion battery anode. *Inorg. Chem. Commun.*, 95, 67–72.
- [10] Li, H., Su, Q., Kang, J., Huang, M., Feng, M., Feng, H., Huang, P., & Du, G., (2018). Porous SnO₂ hollow microspheres as anodes for high-performance lithium ion battery. *Mater. Lett.*, 217, 276–280.
- [11] Kang, Y., Li, Z., Xu, K., He, X., Wei, S., & Cao, Y., (2019). Hollow SnO₂ nanospheres with single-shelled structure and the application for supercapacitors. *J. Alloys Compds.*, 779, 728–734.
- [12] Horti, N.C., Kamatagi, M.D., Patil, N.R., Wari, M.N., & Inamdar, S.R., (2018). Photoluminescence properties of SnO₂ nanoparticles: Effect of solvents. *Optik*, 169, 314–320.
- [13] Razeghizadeh, A.R., Kazeminezhad, I., Zalaghi, L., & Rafee, V., (2018). Effects of sol concentration on the structural and optical properties of SnO₂ nanoparticle. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.*, 37, 25-32.
- [14] Razeghizadeh, A.R., Zalaghi, L., Kazeminezhad, I., & Rafee, V., (2017). Growth and optical properties investigation of pure and Al-doped SnO₂ nanostructures by sol-gel method. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.*, 36, 1-8.
- [15] Guo, J., Zhang, J., Gong, H., Ju, D., & Cao, B., (2016). Au nanoparticle-functionalized 3D SnO₂ microstructures for high performance gas sensor. *Sens. Actuators B-Chem.*, 226, 266–272.

- [16] Pan, Y., Wan, T., Du, H., Qu, B., Wang, D., Ha, T.J., & Chu, D., (2018). Mimicking synaptic plasticity and learning behaviours in solution processed SnO₂ memristor. *J. Alloys Compds.*, 757, 496–503.
- [17] Muz, İ., & Kurban, M., (2019). A comprehensive study of electronic structure and optical properties of carbon nanotubes with doped B, Al, Ga, Si, Ge, N, P and As and different diameters. *J. Alloys Compds.*, 802, 25-35.
- [18] Muz, İ., Göktaş, F., & Kurban, M., (2020). 3d-transition metals (Cu, Fe, Mn, Ni and Zn)-doped pentacene π -conjugated organic molecule for photovoltaic applications: DFT and TD-DFT calculations, *Theor. Chem. Acc.*, 139, 1-8.
- [19] Kurban, M., Kurban, H., & Dalkılıç, M., (2019). Controlling structural and electronic properties of ZnO NPs: Density-functional tight-binding method. *B. Int. J. Sci. and Tech. Res.*, 3, 35-39.
- [20] Zhang, X., Huang, X., Zhang, X., Xia, L., Zhong, B., Zhang, T., & Wen, G., (2016). Flexible carbonized cotton covered by graphene/Co-Doped SnO₂ as free-standing and binder-free anode material for lithium-ion batteries. *Electrochim. Acta.*, 222, 518–527.
- [21] Jiang, Z., Yin, M., & Wang, C., (2017). Facile synthesis of Ca²⁺/Au Co-doped SnO₂ nanofibers and their application in acetone sensor. *Mater. Lett.*, 194, 209–212.
- [22] Ma, Y., Ma, Y., Ulissi, U., Ji, Y., Streb, C., Bresser, D., & Passerini, S., (2018). Influence of the doping ratio and the carbon coating content on the electrochemical performance of Co-doped SnO₂ for lithium-ion anodes. *Electrochim. Acta.*, 277, 100–109.
- [23] Luo, M., & Sun, F., (2014). Magnetic properties of Co-doped SnO₂ at different carrier concentrations. *Optik*, 125, 2157–2159.
- [24] Jiang, H., Liu, X.F., Zhou, Z.Y., Wu, Z.B., He, B., & Yu, R.H., (2011). The effect of surfactants on the magnetic and optical properties of Co-doped SnO₂ nanoparticles. *Appl. Surf. Sci.*, 258, 236–241.
- [25] Silva, T.F.S., Silvestre, A.J., Rocha, B.G.M., Nunes, M.R., Monteiro, O.C., & Martins, L.M.D.R.S., (2017). Enhancing alkane oxidation using Co-doped SnO₂ nanoparticles as catalysts. *Catal. Commun.*, 96, 19–22.
- [26] Kou, X., Wang, C. Ding, M., Feng, C., Li, X., Ma, J., Zhang, H., Sun, Y., & Lu, G., (2016). Synthesis of Co-doped SnO₂ nanofibers and their enhanced gas-sensing properties. *Sens. Actuator. B-Chem.*, 236, 425-432.
- [27] Cullity, B.D., (1978). *Elements of X-Ray Diffraction 2nd ed.* Addison–Wesley Publishing Company, Massachusetts, 102.
- [28] Zhu, S., Chen, C., & Li, Z., (2019). Magnetic enhancement and magnetic signal tunability of (Mn, Co) Co-Doped SnO₂ dilute magnetic semiconductor nanoparticles. *J. Magn. Magn. Mater.*, 471, 370–380.
- [29] Khan, S.A., Kanwal, S., Rizwan, K., & Shahid, S., (2018). Enhanced antimicrobial, antioxidant, in vivo antitumor and in vitro anticancer effects against breast cancer cell line by green synthesized un-doped SnO₂ and Co-doped SnO₂ nanoparticles from clerodendrum inerme. *Microb. Pathog.*, 125, 366–384.
- [30] Shaikh, F.I., Chikhale, L.P., Patil, J.Y., Mulla, I.S., & Suryavanshi, S.S., (2017). Enhanced acetone sensing performance of nanostructured Sm₂O₃ doped SnO₂ thick films. *J. Rare. Earth.*, 35, 813–823.

Araştırma Makalesi / Research Article

İsoindolsübstütü-e-kalkon Türevlerine İyot Katalizli Tiyofenol Katılması

Yakup Budak^{1*}, Ahmet Doğan Çakır², Oğuz Özbek³, Meliha Burcu Gürdere⁴,
Mustafa Ceylan⁵

Geliş / Received: 17/04/2020

Revize / Revised: 10/05/2020

Kabul / Accepted: 11/05/2020

ÖZ

Kalkon ve isoindol türevleri önemli biyolojik aktivitelere sahip bileşiklerdir. Bu iki birimi aynı yapıda taşıyan hibrit moleküllerinde biyolojik aktivite gösterdikleri bilinmektedir. Ayrıca β -merkaptanlar bazı biyoaktif bileşiklerin sentezi için başlangıç materyali olarak kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada, isoindolsübstütü-e-kalkon türevlerine (**3a-j**) moleküler iyot katalizörlüğünde tiyofenol katılarak yeni β -merkaptokarbonil bileşikleri, ((3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-(3-(feniltiyol)-3-(aril)propanol)fenil)-3a,4,7,7a-tetrahidro-1H-4,7-metanisoindol-1,3(2H)-dion) (**5a-j**) yüksek verimler ile elde edildi. Elde edilen yeni bileşiklerin yapıları ¹H-NMR, ¹³C-NMR, FT-IR ve Elementel Analiz spektroskopik yöntemleri kullanılarak aydınlatıldı.

Anahtar Kelimeler- Kalkon, İsoindol, Tiyofenol, β -Merkaptokarbonil

¹Sorumlu yazar iletişim: yakup.budak@gop.edu.tr (<http://orcid.org/0000-0001-7108-5548>)

Kimya Bölümü, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, 60250, Tokat

²İletişim: ahmetdogancakir@hitit.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2233-5069>)

Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Hitit Üniversitesi, 19030, Çorum

³İletişim: oguz.ozbek@beun.edu.tr (<http://orcid.org/0000-0001-5185-9681>)

Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, 67600, Zonguldak

⁴İletişim: burcugurdere@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-4285-5528>)

Kimya Bölümü, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, 60250, Tokat

⁵İletişim: mustafac.ceylan@gop.edu.tr (<http://orcid.org/0000-0002-9184-4385>)

Kimya Bölümü, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, 60250 Tokat

Iodine-Catalyzed Addition of Thiophenol to Isoindolsubstitue Chalcones

ABSTRACT

Chalcone and isoindol derivatives possess significant biological activities. Also, it is known that hybrid molecules carrying these two units in the same structure show biological activity. In addition, α -mercaptans are used as the starting material for the synthesis of some bioactive compounds. In this work, new β -mercapto carbonyl compounds (**5a-j**), (3*aR*,4*S*,7*R*,7*aS*)-2-(4-(3-(phenylthio)-3-(aryl)pyridyl)aminocarbonylpropanol)phenyl)-3*a*,4,7,7*a*-tetrahydro-1*H*-7-methanoisoindole-1,3(2*H*)-dione), were obtained by molecular iodine-catalyzed addition of thiophenol to isoindol substituted chalcone derivatives (**3a-j**) in high yields. The structures of the obtained new compounds were clarified by ¹H-NMR, ¹³C-NMR, FT-IR and Elemental Analysis spectroscopic methods.

Keywords- *Chalcone, Isoindole, Thiophenol, β -Mercaptocarbonyl*

I. GİRİŞ

Kükürt içeren bileşiklerin antibakteriyel [1-3], antimikrobiyal [4], antifungal [5, 6], antikanser [7, 8], anti-trombotik, antioksidan, anti-diyabetik ve potansiyel sitotoksik ajan gibi çeşitli biyolojik aktivite sergiledikleri bilinmektedir [9, 10]. Bu bileşikler arasında, β -merkaptokarbonil türevleri tiyokromanlar [11, 12], tiopiran [13], benzotiazapin [14, 15], 4,5-dihidropirazoller [16], gibi bio-aktif bileşiklerin sentezi için çıkış bileşiği olarak kullanılan önemli bileşiklerdir.

Thia-Michael katılma reaksiyonu, biyoloji, tıp ve sentetik organik kimyada büyük bir öneme sahip olan β -merkaptokarbonil türevlerinin sentezi için yaygın olarak kullanılan C-S bağ oluşturma tepkimelerinden biridir. Kükürt merkezli nükleofillerin α,β -doymamış karbonil bileşiklerine (kalkonlar gibi) konjuge-katılması kükürt kimyası alanında güçlü bir sentetik yöntemdir [17-19].

Kalkonlar, doğal olarak [20] bulunmalarının yanı sıra ilgili aldehit ve ketonların kondenzasyonu ile kolayca elde edilirler ve anti-sıtma [21], antihelmintik, amoebicidal, antiülser, antiviral, böcek öldürücü [22], antibakteriyel [23], antiprotozoal, anti-HIV [24] antikanser [25, 26], antiinflamatuvar [27] ve antioksidan [28] özellikleri ile geniş bir biyolojik aktivite spektrumuna sahiptirler. Kalkonlar, Tıbbi tedavide kullanıldıkları kadar polimerlerde UV-absorbsiyon filtreleri olarak farklı türdeki optik materyallerde, yiyecek endüstrisinde, holografik kayıt teknolojileri gibi birçok alanda da uygulama alanı bulmuştur [29]. Bütün bunların yanı sıra kalkonlar organik sentezlerde hetero-halkalı bileşiklerin (pirazol, pirazolin, tiyazol, tiyazin, oksazin, isoksazolin, pirimidintiyon, pirimidinon, indol ve indazol gibi) sentezinde Michael-akseptörü olarak kullanılan önemli başlangıç maddeleridir [30].

İndol ve isoindol birimlerini içeren moleküller doğal olarak bulunduğu gibi laboratuvar ortamında da kolayca sentezlenebilirler. Bu tür bileşikler biyolojik açıdan oldukça aktif, antimikrobiyal [31] ve özellikle antikanser aktiviteleri bakımından önemli [32] olup tirozin kinaz [33], karbonikanhidraz (hCA I, hCA II) ve asetilkolinesteraz enzimlerini inhibe ettikleri bilinmektedir [34, 35].

Bu çalışmada isoindol substitue kalkon türevlerine moleküler iyot katalizörlüğünde tiyofenol katılarak yeni β -merkaptokarbonil türevlerinin sentezi gerçekleştirildi. Elde edilen bileşiklerin yapıları spektroskopik yöntemler ve literatür verilerinden yararlanılarak aydınlatıldı.

II. MATERYAL METOT

A. Materyal

Bu çalışmada kullanılan çözücü ve reaktantlar ticari olarak temin edildi (Merck ve Sigma Aldrich) ve ileri saflaştırma işlemleri yapılmadan kullanıldı. Erime noktaları Electrothermal 9100 cihazı ile ölçüldü. IR spektrumları (KBr disk) bir Jasco FT/IR-430 spektrometre cihazı ile kaydedildi. ^1H - ve ^{13}C -NMR spektrumları Bruker Avance DPX-400 cihazı ile alındı. Elemental analizler LECO CHNS 932 Elemental Analyzer'dan elde edildi. Çıkış bileşikleri **1**, **2a-j** ve **3a-j** bilinen yöntemler [34, 36] kullanılarak sentezlendi.

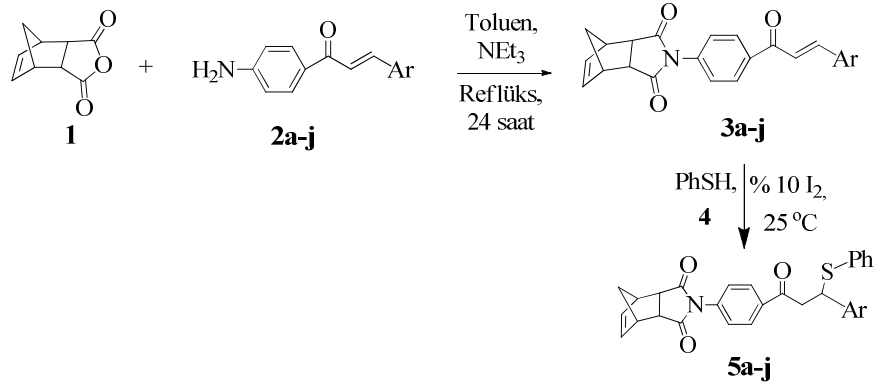
B. β -Merkaptokarbonil bileşiklerinin (**5a-j**) sentezi

Ekivalent miktarda isoindolsüstitüe kalkon türevleri **3a-j** ve tiyofenol (**4**) 25 mL metilen klorürde çözümlenerek üzerine % 10 mol moleküler iyot (I_2) ilave edildi ve oda sıcaklığında 3 saat karıştırıldı. Reaksiyonun tamamlandığı ince tabaka ile belirlendikten sonra reaksiyon karışımı sırasıyla seyreltik Na_2SO_3 çözeltisi ve su ile yıkandı. Organik faz Na_2SO_4 üzerinden kurutulup çözücünün uzaklaştırılması sonucunda yeni β -merkaptokarbonil türevleri **5a-j** katı olarak yüksek verimler ile (%85-90) elde edildi.

III. BULGULAR

Bu çalışmada, ilk önce çıkış bileşikleri sırasıyla (3aR,4S,7R,7aS)-3a,4,7,7a-tetrahidro-4,7-metano isobenzofuran-1,3-dion (**1**) siklopetadien'e maleik anhidrit katılarak, kalkon türevleri ((E)-1-(4-aminofenil)-3-fenilprop-2-en-1-on (**2a-j**) ise 4-aminoasetofenon'a ilgili benzaldehit türevlerinin Claisen-Schmidt kondenzasyonu ile literatürde bildirildiği gibi yüksek verimlerle sentezlendi. İkinci aşamada, bileşik **1** ve amino-

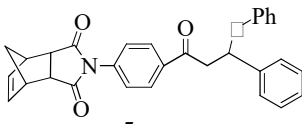
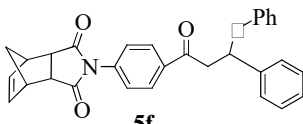
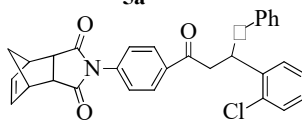
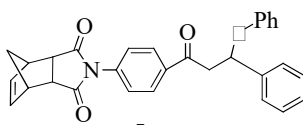
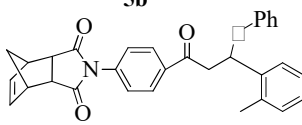
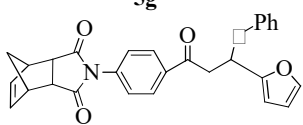
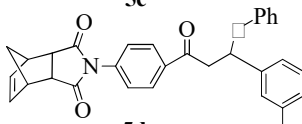
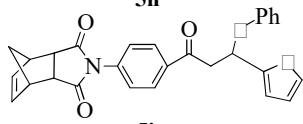
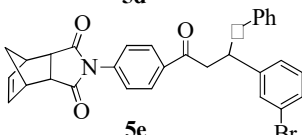
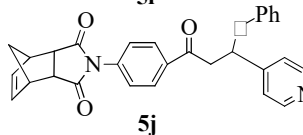
kalkon türevleri **2a-j** toluen içerisinde ve 10 mL trietilamin varlığında 24 saat reflüks edilerek isoindolsüstitü-kalkon türevleri **3a-j** elde edildi. Çalışmanın son basamağında, elde edilen isoindolsüstitü-kalkon türevlerine **3a-j** moleküler iyot (I_2) katalizörlüğünde tiyofenol oda sıcaklığında katılarak yeni β -merkaptokarbonil türevleri **5a-j** katı olarak yüksek verimler ile (%85-90) sentezlendi (Şekil 1, Tablo 1). Elde edilen bileşiklerin yapıları 1H , ^{13}C -NMR, FT-IR spektrumları ve Elemental Analiz verileri değerlendirilerek ve literatür verilerinden faydalanılarak aydınlatıldı.



Ar: Ph, 2-ClPh, 2-CH₃Ph, 3-CH₃Ph, 3-BrPh, 4-CH₃Ph, 4-OCH₃Ph, 2-furil, 2-tiyofenil, 4-piridin

Şekil 1. (3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-(3-(feniltiyo)-3-(aril)propanol)fenil)-3a,4,7,7a-tetrahidro-1H-4,7-metanisoindol-1,3(2H)-dion (**5a-j**) türevlerinin sentezi

Tablo 1. Sentezlenen (3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-(3-(feniltiyo)-3-(aril)propanol)fenil)-3a,4,7,7a-tetrahidro-1H-4,7-metanisoindol-1,3(2H)-dion (**5a-j**) türevleri

Ürün	Verim	E.N. °C	Ürün	Verim	E.N. °C
	85	140-144		85	146-148
	85	160-163		90	150-154
	85	138-142		90	134-138
	90	130-133		88	136-139
	88	140-142		87	130-134

(3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-(3-fenil-3-(feniltiyo)-propanol)-fenil)-3a,4,7,7a-tetrahidro-1H-4,7-metansoindol-1,3(2H)-dion (5a)

Verim: % 85, E.N. 140-144 °C. IR Spektrumu (KBr, cm⁻¹): 3021, 2988, 1712, 1684, 1384, 1180. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃ ppm) δ 7.94 (d, *J* = 8.8 Hz, 2H), 7.35-7.32 (m, 4H), 7.30-7.26 (m, 4H), 7.25-7.24 (m, 4H), 6.27-6.26 (m, 2H), 4.95 (dd, *J* = 8.4, 6.0 Hz, 1H), 3.66 (dd, *J* = 17.2, 8.0 Hz, 1H), 3.59-3.54 (m, 1H), 3.55-3.52 (m, 2H), 3.47-3.46 (m, 2H), 1.83-1.80 (d, *J* = 7.2 Hz, 1H), 1.65-1.62 (d, *J* = 10.8 Hz, 1H). ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃ ppm) δ 195.9, 176.3 (2C), 140.9, 136.2, 136.0, 134.6 (2C), 134.0, 132.8 (2C), 128.9 (2C), 128.8 (2C), 128.5 (2C), 127.7 (2C), 127.6, 127.4, 126.6 (2C), 52.3, 48.1, 45.9 (2C), 45.6 (2C), 44.6. Elem. Anal. C₃₀H₂₅NO₃S: C, 75.13; H, 5.25; N, 2.92; S, 6.69. Bulunan: C, 75.08; H, 5.12; N, 2.85; S, 6.61.

(3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-(3-(2-klorfenil)-3-(fenil-tiyo)propanol)fenil)-3a,4,7,7a-tetrahidro-1H-4,7-metansoindol-1,3(2H)-dion (5b)

Verim: % 85, E.N. 160-163 °C. IR Spektrumu (KBr, cm⁻¹): 2870, 1710, 1683, 1368, 1176. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃ ppm) δ 7.97 (d, *J* = 8.8 Hz, 2H), 7.39-7.36 (m, 4H), 7.30-7.24 (m, 5H), 7.21-7.18 (m, 2H), 6.27-6.26 (m, 2H), 5.43 (d, *J* = 6.8 Hz, 1H), 3.69 (dd, *J* = 17.2, 8.0 Hz, 1H), 3.62 (dd, *J* = 17.6, 6.8 Hz, 1H), 3.57-3.53 (m, 2H), 3.48-3.47 (m, 2H), 1.81 (d, *J* = 7.6 Hz, 1H), 1.64 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H). ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃ ppm) δ 195.5, 176.3 (2C), 138.3, 136.0, 134.6 (2C), 133.8, 133.5, 133.0 (3C), 129.0, 128.9 (3C), 128.8, 128.5, 128.4, 127.8, 127.0, 126.6 (2C), 52.3, 45.9 (2C), 45.6 (2C), 44.5, 44.0. Elem. Anal. C₃₀H₂₄ClNO₃S: C, 70.10; H, 4.71; N, 2.72; S, 6.24. Bulunan: C, 70.02; H, 4.62; N, 2.69; S, 6.14.

(3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-(3-(feniltiyo)-3-(2-metil)-propanol)fenil)-3a,4,7,7a-tetrahidro-1H-4,7-metansoindol-1,3(2H)-dion (5c)

Verim: % 85, E.N. 138-142°C. IR Spektrumu (KBr, cm⁻¹): 2970, 1710, 1680, 1367, 1222, 1169. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃ ppm) δ 7.94 (d, *J* = 8.8 Hz, 2H), 7.36-7.33 (m, 2H), 7.32-7.26 (m, 6H), 7.25-7.12 (m, 3H), 6.27-6.26 (m, 2H), 5.17 (dd, *J* = 8.8, 6.0 Hz, 1H), 3.76 (dd, *J* = 17.6, 8.4 Hz, 1H), 3.59-3.53 (m, 3H), 3.47-3.46 (m, 2H), 2.46 (s, 3H), 1.81 (d, *J* = 7.6 Hz, 1H), 1.63 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H). ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃ ppm) δ 196.2, 176.3 (2C), 138.6, 136.3, 136.2, 136.0, 134.6 (2C), 134.0, 133.3 (2C), 130.6, 128.9 (2C), 128.7 (2C), 127.8, 127.2, 126.6 (2C), 126.3, 126.2, 52.3, 45.9 (2C), 45.6 (2C), 44.3, 43.7, 19.4. Elem. Anal. C₃₁H₂₇NO₃S: C, 75.43; H, 5.51; N, 2.84; S, 6.50. Bulunan: C, 75.37; H, 5.46; N, 2.80; S, 6.45.

(3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-(3-(feniltiyo)-3-(3-metil)-propanol)fenil)-3a,4,7,7a-tetrahidro-1H-4,7-metansoindol-1,3(2H)-dion (5d)

Verim % 90, E.N. 130-133 °C. IR Spektrumu (KBr, cm⁻¹): 2986, 1710, 1692, 1383, 1180. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃ ppm) δ 7.94 (d, *J* = 8.4 Hz, 2H), 7.36-7.33 (m, 2H), 7.28-7.22 (m, 5H), 7.18-7.12 (m, 3H), 7.03 (d, *J* = 7.6 Hz, 1H), 6.27-6.26 (m, 2H), 4.91 (t, *J* = 8.0 Hz, 1H), 3.68-3.64 (dd, *J* = 17.2, 8.0 Hz, 1H), 3.57-3.55 (m, 3H), 3.47 (t, *J* = 1.2 Hz, 2H), 2.31 (s, 3H), 1.83-1.80 (dd, *J* = 8.8, 1.2 Hz, 1H), 1.64 (d, *J* = 6.4 Hz, 1H). ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃ ppm) δ 196.0, 176.3 (2C), 140.7, 138.1, 136.2, 135.9, 134.6 (2C), 134.2, 132.7 (2C), 128.9 (2C), 128.8 (2C), 128.4, 128.3, 128.2, 127.5, 126.5 (2C), 124.7, 52.3, 48.0, 45.9 (2C), 45.6 (2C), 44.7, 21.4. Elem. Anal. C₃₁H₂₇NO₃S: C, 75.43; H, 5.51; N, 2.84; S, 6.50. Bulunan: C, 75.39; H, 5.43; N, 2.79; S, 6.39.

(3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-(3-(3-bromfenil)-3-(feniltiyo)-propanol)fenil)-3a,4,7,7a-tetrahidro-1H-4,7-metansoindol-1,3(2H)-dion (5e)

Verim: % 88, E.N. 140-142 °C. IR Spektrumu (KBr, cm⁻¹): 2976, 1711, 1685, 1374, 1177. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃ ppm) δ 7.96 (d, *J* = 8.4 Hz, 2H), 7.49-7.47 (m, 1H), 7.35-7.26 (m, 8H), 7.22 (d, *J* = 6.8 Hz, 1H), 7.13 (t, *J* = 7.6 Hz, 1H), 6.28 (m, 2H), 4.87 (t, *J* = 6.8 Hz, 1H), 3.59-3.57 (m, 2H), 3.55-3.53 (m, 2H), 3.47-3.46 (m, 2H), 1.82 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H), 1.64 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H). ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃ ppm) δ 195.4, 176.2 (2C), 143.5, 136.1, 136.0, 134.6 (2C), 133.4, 133.2 (2C), 130.8, 130.5, 129.9, 129.0 (2C), 128.8 (2C), 128.0, 126.6 (2C), 126.5, 122.4, 52.3, 47.7, 45.9 (2C), 45.6 (2C), 44.4. Elem. Anal. C₃₀H₂₄BrNO₃S: C, 64.52; H, 4.33; N, 2.51; S, 5.74. Bulunan: C, 64.48; H, 4.24; N, 2.48; S, 5.69.

(3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-(3-(feniltiy)-3-(4-metil)-propanol)fenil)-3a,4,7,7a-tetrahidro-1H-4,7-metansoindol-1,3(2H)-dion (5f)

Verim: % 85, E.N. 146-148 °C. IR Spektrumu (KBr, cm⁻¹): 2980,1712, 1683, 1381, 1178. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃ ppm) δ 7.93 (d, *J* = 8.4 Hz, 2H), 7.36-7.32 (m, 2H), 7.30-7.22 (m, 7H), 7.08 (d, *J* = 7.6 Hz, 2H), 6.27-6.26 (m, 2H), 4.92 (dd, *J* = 8.4, 5.6 Hz, 1H), 3.64 (dd, *J* = 17.2, 8.4 Hz, 1H), 3.56-3.50 (m, 3H), 3.48-3.46 (m, 2H), 2.30 (s, 3H), 1.81 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H), 1.64 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H). ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃ ppm) δ 196.1, 176.2 (2C), 137.8, 137.1, 136.2, 135.9, 134.6 (2C), 134.3, 132.6 (2C), 129.2 (2C), 128.9 (2C), 128.8 (2C), 127.6 (2C), 127.5, 126.5 (2C), 52.3, 47.8, 45.9 (2C), 45.6 (2C), 44.8, 21.0. Elem. Anal. C₃₁H₂₇NO₃S: C, 75.43; H, 5.51; N, 2.84; S, 6.50. Bulunan: C, 75.36; H, 5.49; N, 2.81; S, 6.43.

(3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-(3-(4-metoksifenil)-3-(feniltiy)-propanol)fenil)-3a,4,7,7a-tetrahidro-1H-4,7-metansoindol-1,3(2H)-dion (5g)

Verim: % 90, E.N. 150-154 °C. IR Spektrumu (KBr, cm⁻¹): 2987, 1712, 1682, 1510, 1380, 1247, 1177. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃ ppm) δ 7.93 (d, *J* = 8.4 Hz, 2H), 7.35-7.33 (m, 2H), 7.28-7.23 (m, 7 H), 6.80 (d, *J* = 8.8 Hz, 2H), 6.27-6.26 (m, 2H), 4.92 (dd, *J* = 8.8, 5.6 Hz, 1H), 3.77 (s, 3H), 3.64 (dd, *J* = 17.2, 8.4 Hz, 1H), 3.54-3.46 (m, 5H), 1.81 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H), 1.64 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H). ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃ ppm) δ 196.1, 176.3 (2C), 158.7, 136.2, 135.9, 134.6 (2C), 134.2, 132.8, 132.7 (2C), 128.9 (4C), 128.8 (2C), 127.5, 126.6 (2C), 113.8 (2C), 55.2, 52.3, 47.6, 45.9 (2C), 45.6 (2C), 44.8. Elem. Anal. C₃₁H₂₇NO₄S: C, 73.06; H, 5.34; N, 2.75; S, 6.29. Bulunan: C, 73.00; H, 5.32; N, 2.65; S, 6.21.

(3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-(3-(furan-2-il)-3-(feniltiy)-propanol)fenil)-3a,4,7,7a-tetrahidro-1H-4,7-metansoindol-1,3(2H)-dion (5h)

Verim: % 90, E.N. 134-138 °C. IR Spektrumu (KBr, cm⁻¹): 2994, 1710, 1686, 1370, 1237, 1181. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃ ppm) δ 7.99 (d, *J* = 8.4 Hz, 2H), 7.37-7.34 (m, 3H), 7.32-7.28 (m, 5 H), 6.29-6.28 (m, 2H), 6.24-6.23 (m, 1H), 6.03-6.02 (m, 1H), 4.98 (dd, *J* = 7.6, 6.0 Hz, 1H), 3.70 (dd, *J* = 17.2, 8.0 Hz, 1H), 3.55-3.47 (m, 5H), 1.82 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H), 1.64 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H). ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃ ppm) δ 195.4, 176.2 (2C), 153.0, 141.9, 136.1, 136.0, 134.6 (2C), 133.8 (2C), 133.1, 129.1, 129.0, 128.9 (2C), 128.1, 126.6 (2C), 110.3, 107.4, 52.3, 45.9 (2C), 45.6 (2C), 42.0, 41.5. Elem. Anal. C₂₈H₂₃NO₄S: C, 71.62; H, 4.94; N, 2.98; S, 6.61. Bulunan: C, 71.57; H, 4.88; N, 2.91; S, 6.57.

(3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-(3-(feniltiy)-3-(tiyofen-2-il)-propanol)fenil)-3a,4,7,7a-tetrahidro-1H-4,7-metansoindol-1,3(2H)-dion (5i)

Verim: % 88, E.N. 136-139 °C. IR Spektrumu (KBr, cm⁻¹): 2965, 1703, 1599, 1375, 1167. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃ ppm) δ 7.98 (d, *J* = 6.8 Hz, 2H), 7.39-7.37 (m, 2H), 7.31-7.27 (m, 6H), 6.84 (s, 2H), 6.28 (s, 2H), 5.24 (dd, *J* = 12.4, 6.4 Hz, 1H), 3.67 (dd, *J* = 16.0, 8.0 Hz, 1H), 3.60-3.48 (m, 5H), 1.82 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H), 1.65 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H). ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃ ppm) δ 195.5, 176.2 (2C), 145.1, 136.1, 134.6 (2C), 133.6, 133.1 (2C), 128.9 (2C), 128.8 (2C), 127.9, 126.6 (2C), 126.5, 125.5, 124.6, 52.3, 45.9 (2C), 45.7, 45.6 (2C), 43.6. Elem. Anal. C₂₈H₂₃NO₃S₂: C, 69.25; H, 4.77; N, 2.88; S, 13.21. Bulunan: C, 69.20; H, 4.72; N, 2.83; S, 13.16.

(3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-(3-(feniltiy)-3-(piridin-4-il)-propanol)fenil)-3a,4,7,7a-tetrahidro-1H-4,7-metansoindol-1,3(2H)-dion (5j)

Verim: % 87, E.N. 130-134 °C. IR Spektrumu (KBr, cm⁻¹): 1707, 1599, 1385, 1177. ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃ ppm) δ 8.38-8.37 (m, 2H), 7.89 (d, *J* = 8.4 Hz, 2H), 7.26-7.14 (m, 9H), 6.18-6.17 (m, 2H), 4.74 (t, *J* = 6.8 Hz, 1H), 3.57 (d, *J* = 7.2 Hz, 1H), 3.41-3.40 (m, 4H), 2.98-2.97 (m, 1H), 1.71 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H), 1.57 (d, *J* = 8.8 Hz, 1H). ¹³C-NMR (100 MHz, CDCl₃ ppm) δ 195.2, 176.2 (2C), 149.7 (2C), 135.7, 135.0, 134.6 (2C), 133.3 (2C), 129.0 (2C), 128.7 (2C), 128.2, 126.8 (2C), 126.6, 124.5, 122.8 (2C), 52.2, 47.1, 45.8 (2C), 45.5 (2C), 43.5. Elem. Anal. C₂₉H₂₄N₂O₃S: C, 72.48; H, 5.03; N, 5.83; S, 6.67. Bulunan: C, 72.34; H, 5.01; N, 5.79; S, 6.60.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yapısında isoindol, kalkon ve tiyofenol birimi içeren yeni on adet β -merkaptokarbonil türevleri ((3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-(3-(feniltiyo)-3-(aril)propanol)fenil)-3a,4,7,7a-tetrahidro-1H-4,7-metan-isoindol-1,3(2H)-dion (**5a-j**) yüksek verimlerle (%85-90) sentezlendi. Elde edilen bileşiklerin yapıları ^1H -, ^{13}C -NMR, FT-IR spektrumları ve Elemental Analiz verileri değerlendirilerek ve literatür verilerinden faydalanılarak aydınlatıldı.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (Proje No: 2015/117) ve TÜBİTAK (Proje No: 111T990) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Rida, S. M., Labouta, I. M., Salama, H. M., Ghany, Y. S., El-Ghazzawi, E., Kader, O. (1986). Syntheses and in vitro antimicrobial evaluation of some benzimidazol-2-ylmethyl-thioureas, enzimidazol 2-ylacetyl thiosemicarbazides and products of their condensation with monochloroacetic acid. *Pharmazie*, 41, 475-478.
- [2] Bhat, A. R., Singh, D. (1988). Synthesis and biological activities of 4-thiazolidinones and dihydro-3-(2H)-thiophenones. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 50, 169-171.
- [3] Pandeya, D., Nair, K. B. (1993). Bridged bis(4-thiazolidinones) and related compounds with antibacterial activity. *Pharmazie*, 48, 414-417.
- [4] Franchini, C., Muraglia, M., Corbo, F., Florio, M. A., Di Mola, A., Rosato, A., Matucci, R., Nesi, M., Van-Bambeke, F., Vitali, C. (2009). Synthesis and biological evaluation of 2-mercapto-1,3-benzothiazole derivatives with potential antimicrobial activity. *Archiv der Pharmazie*, 342, 605-613.
- [5] Cesur, N., Cesur, Z., Ergenc, N., Uzun, M., Kiraz, M., Kasimoglu, O., Kaya, D. (1994). Synthesis and antifungal activity of some 2-aryl-3-substituted 4-thiazolidinones. *Archiv der Pharmazie*, 327, 271-272.
- [6] Capan, G., Ulusoy, N., Ergenc, N., Kiraz, M. (1999). New 6-phenylimidazo[2,1-b]thiazole derivatives: synthesis and antifungal activity. *Monatshefte für Chemie*, 130, 1399-1407.
- [7] Bhatt, J. J., Shah, B. R., Shah, H. P., Trivedi, P. B., Undavia, N. K., Desai, N. C. (1994). Synthesis of anti-HIV, anticancer and antitubercular 4-oxo-thiazolidines, 2-imino-4-oxo-thiazolidines and their 5-arylidine derivatives. *Indian Journal of Chemistry*, 33B, 189-192.
- [8] Tandon, K.V., Chhor, R. B., Singh, R. V., Rai, S., Yadav, D. B. (2004). Design, synthesis and evaluation of novel 1,4-naphthoquinone derivatives as antifungal and anticancer agents. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 14, 1079-1083.
- [9] Sheela, C. G., Augusti K. T. (1992). Antidiabetic effects of S-allyl cysteine sulphoxide isolated from garlic *Allium sativum* Linn. *Indian Journal of Experimental Biology*, 30, 523-526.
- [10] Mahmoodi, M., Aliabadi, A., Emami, S., Safavi, M., Rajabalian, S., Mohagheghi, M. A., Khoshzaban, A., Kermani, A. S., Lamei, N., Shafiee, A., Foroumadi, A. (2010). Synthesis and in-vitro Cytotoxicity of Polyfunctionalized 4-(2-Arylthiazol-4-yl)-4H-chromenes. *Archiv der Pharmazie*, 343, 411-416.
- [11] Katritzky, A. R., Button, M. A. (2001). Efficient syntheses of thiochromans via cationic cycloadditions. *Journal of Organic Chemistry*, 66, 5595-5600.
- [12] Ram, V. J., Agarwal, N., Saxena, A. S., Farhanullah, S., Sharon, A., Maulik, P. R. (2002). Carbanion induced synthesis of annulated unsymmetrical biaryls through ring transformation of 2H-pyran-2-one. *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 1*, 1, 1426-1437.

- [13] Van-Vliet, L. A., Rodenhuis, N., Dijkstra, D., Wikström, H., Pugsley, T. A., Serpa, K. A., Meltzer, L. T., Heffner, T. G., Wise, L. D., Lajiness, M. E., Huff, R. M., Svensson, K., Sundell, S., Lundmark, M. (2000). Synthesis and pharmacological evaluation of thiopyran analogues of the dopamine D3 receptor-selective agonist (4aR,10bR)-(+)-trans-3,4,4a,10b-Tetrahydro-4-n-propyl-2H,5H-[1]benzopyrano [4,3-b]-1,4-oxazin-9-ol (PD 128907). *Journal of Medicinal Chemistry*, 43, 2871-2882.
- [14] Khatik, G. L., Kumar, R., Chakraborti, A. K. (2007). Magnesium Perchlorate as a New and Highly Efficient Catalyst for the Synthesis of 2,3-Dihydro-1,5-benzothiazepines. *Synthesis*, 4, 541-546.
- [15] Sharma, G., Kumar, R., Chakraborti, A. K. (2008). On water' synthesis of 2,4-diaryl-2,3-dihydro-1,5-benzothiazepines catalysed by sodium dodecyl sulfate (SDS). *Tetrahedron Letter*, 49, 4269-4271.
- [16] Zielinska-Blajet, M., Kowalczyk, R., Skarzewski, J. (2005). Ring-closure reactions through intramolecular substitution of thiophenoxide by oxygen and nitrogen nucleophiles: simple stereospecific synthesis of 4,5-dihydroisoxazoles and 4,5-dihydropyrazoles. *Tetrahedron*, 61, 5235-5240.
- [17] Garg, S. K., Kumar, R., Chakraborti, A. K. (2005). Copper(II) tetrafluoroborate as a novel and highly efficient catalyst for Michael addition of mercaptans to α,β -unsaturated carbonyl compounds. *Tetrahedron Letter*, 46, 1721-1724.
- [18] Cheng, S., Cromer, D. D. (2002). An alumina-catalyzed Michael addition of mercaptans to N-anilino-maleimides and its application to the solution-phase parallel synthesis of libraries. *Tetrahedron Letters*, 43, 1179-1181.
- [19] Lee, P. H., Ahn, H., Lee, K., Sung, S. Y., Kim, S. (2001). Studies on the reactions of α,β -enones with allyl indium reagent; effects of TMSCI as promoter on regioselectivity. *Tetrahedron Letters*, 42, 37-39.
- [20] Jovanovic, B. Z., Misic, V. M., Marinkovic, A. D., Csanadi, J. (1999). ^{13}C NMR spectra of pyridine chalcone analogs. *Journal of Molecular Structure*, 482-483, 371-374.
- [21] Ram V.J., Saxena A.S., Srivastava S., Chandra S. (2000). Oxygenated chalcones and bischalcones as potential antimalarial agents. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 10, 2159-2161.
- [22] Rolf, V.H., Wellinga, K. ve Grosscurt, C. (1978). 1-Phenylcarbamoyl-2-pyrazolines: a new class of insecticides. 2. Synthesis and insecticidal properties of 3,5-diphenyl-1-phenylcarbamoyl-2-pyrazolines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26, 915-918.
- [23] Ankhawala, M.D. (1990). Studies on flavonoids, part II: Synthesis and antimicrobial activity of 8-bromo-7-n-butoxy-6-nitroflavones, -flavonols, and flavanones. *Journal of Indian Chemical Society*, 67, 913-915.
- [24] Wu J.-H., Wang X.-H., Yi Y.-H. ve Lee K.-H. (2003). Anti-AIDS agents 54. A potent anti-HIV chalcone and flavonoids from genus *Desmos*. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 13, 1813-1815.
- [25] Kumar S.K., Erin H., Catherina P., Gurulingappa, H., Davidson, N. E. ve Khan, S. R. (2003). Design, synthesis, and evaluation of novel boronic-chalcone derivatives as antitumor agents. *Journal of Medicinal Chemistry*, 46, 2813-2815.
- [26] Buolamwini, J. K., Addo, J., Kamath, S., Patil, S., Mason, D., Ores, M. (2005). Small molecule antagonists of the MDM2 oncoprotein as anticancer agents. *Current Cancer Drug Targets*, 5, 57-68.
- [27] Herencia, F., Ferrandiz, M. L., Ubeda, A., Dominguez, J. N., Charris, J. E., Lobo, G. M. ve Alcaez, M. J. (1998). Synthesis and anti-inflammatory activity of chalcone derivatives, *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 8, 1169-1174.

- [28] Satyanarayana, M., Tiwari, P., Tripathi, B. K., Srivastava, A. K., Pratap, R. (2004). Synthesis and antihyperglycemic activity of chalcone based aryloxypropanolamines. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 12, 883-889.
- [29] Fayed, T. A., Awad, M. K. (2004). Dual emission of chalcone-analogue dyes emitting in the red region. *Chemical Physics*, 303, 317-326.
- [30] Gürdere, M. B., Özbek, O., Ceylan, M. (2016). Aluminum chloride-catalyzed C-alkylation of pyrrole and indole with chalcone and bis-chalcone derivatives. *Synthetic Communications*, 46, 322-331.
- [31] Ozbek, O., Usta, N. C., Gürdere, M. B., Aslan, O. A., Budak, Y., Ceylan, M. (2017). Synthesis and antibacterial screening of novel 2-(4-(aryl) thiazol-2-yl)-3a,4,7,7a-tetrahydro-1H-4,7-ethanoisindole-1,3(2H)-dione derivatives. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, 192, 1153-1157.
- [32] Gilchrist, T. L. (1987). *Heterocyclic Chemistry*, 2. baskı, Harlow, Essex, England : Longman Scientific & Technical, Wiley, New York.
- [33] Sun, L., Tran, N., Liang C., Hubbard, S., Tang F., Lipson K., Schreck, R., Zhou Y., McMahon, G., Tang, C. (2000). Identification of substituted 3-[(4,5,6, 7-tetrahydro-1H-indol-2-yl)methylene]-1,3-dihydroindol-2-ones as growth factor receptor inhibitors for VEGF-R2 (Flk-1/KDR), FGF-R1, and PDGF-Rbeta tyrosine kinases. *Journal of Medicinal Chemistry*, 43(14), 2655-2663.
- [34] Kocyigit, U. M., Budak, Y., Gürdere, M. B., Tekin, Ş., Kul Köprülü, T., Ertürk, F., Özcan, K., Gülçin, I., Ceylan, M. (2017). Synthesis, characterization, anticancer, antimicrobial and carbonicanhydrase inhibition profiles of novel (3aR,4S,7R,7aS)-2-(4-((E)-3-(3-aryl) acryloyl) phenyl)-3a,4,7,7a-tetrahydro-1H-4,7-methanoisindole-1,3(2H)-dione derivatives. *Bioorganic Chemistry*, 70, 118-125.
- [35] Budak, Y., Kocyigit, U. M., Gürdere, M. B., Özcan, K., Taslimi, P., Gülçin, İ., Ceylan, M. (2017). Synthesis and investigation of antibacterial activities and carbonic anhydrase and acetyl cholinesterase inhibition profiles of novel 4,5-dihydropyrazol and pyrazolyl-thiazole derivatives containing methanoisindol-1,3-dion unit. *Synthetic Communications*, 47 (24), 2313-2323.
- [36] Ceylan, M., Gürdere, M. B., Karaman, İ., Gezegen, H. (2011). The synthesis and screening of the antimicrobial activity of some novel 3-(furan-2-yl)-1-(aryl)-3-(phenylthio)propan-1-one derivatives. *Medicinal Chemistry Research*, 20, 109-115.

Araştırma Makalesi - Research Article

Endüstriyel IoT Bulut Uygulamaları için Düşük Maliyetli Modbus/MQTT Ağ Geçidi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

Hamdi Erdoğan¹, Kerem Küçük^{2*}, Sajjad Ahmad Khan³

Geliş / Received: 24/03/2020

Revize / Revised: 14/05/2020

Kabul / Accepted: 18/05/2020

ÖZ

Günümüzde, bulut teknolojileri endüstriyel alanlarda kullanılan cihaz ve makinelerden toplanan verilerin gerçek zamanlı olarak takip edilmesinde önemli çözümler sunmaktadırlar. Sahada elde edilen verilerin bulut platformlarına aktarılabilmesi için farklı türden ağ geçitlerinden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada endüstriyel alanlarda kullanılacak düşük güç tüketimine sahip, düşük maliyetli nesnelerin interneti (Internet of Things, IoT) temelli bir ağ geçidi prototipi tasarımı sunulmaktadır. Bulut platforma aktarılacak verilerin sahadan ağ geçidi üzerine alınması için endüstriyel veri iletişimde sıklıkla kullanılan Modbus protokolü kullanılmıştır. Ağ geçidinde toplanan verilerin bulut platformuna kablosuz ortamda aktarımını sağlamak için IoT uygulamalarında sıkça kullanılan Mesaj Kuyruk Telemetri Ulaştırma Protokolü (Message Queuing Telemetry Transport, MQTT) protokolü kullanılmıştır. Tasarlanan ağ geçidi, veriler üzerinde farklılığı algılayabilecek bir algoritma ile programlanmıştır. Verilerin hızlı bir şekilde görselleştirilmesi ve depolanması için IBM Watson IoT Platformu tercih edilmiştir. Ayrıca çalışmada tasarlanan ağ geçidinin performans analizi için MQTT sunucusu olarak Mosquitto kullanılmıştır. Deneysel test çalışmalarında, farklı boyutlarda yüklere sahip veri mesajlarının farklı seviyelerde servis kalitesinde (Quality of Service, QoS) uçtan uca gecikme süreleri ve istatistiksel sonuçları verilmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Modbus, MQTT, Ağ geçidi, Mosquitto, Nesnelerin interneti (IoT)*

¹İletişim: 195112003@kocaeli.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-8893-2165>)

Bilgisayar Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe Kampüsü, 41001 İzmit Kocaeli

^{2*}Sorumlu yazar iletişim: kkucuk@kocaeli.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2621-634X>)

Bilgisayar Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe Kampüsü, 41001 İzmit Kocaeli

³İletişim: sajjad.khan@kocaeli.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-0787-1357>)

Bilgisayar Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe Kampüsü, 41001 İzmit Kocaeli

Design and Implementation of Low-Cost of Modbus/MQTT Gateway for Industrial IoT Cloud Applications

ABSTRACT

Nowadays, cloud technologies offer remarkable solutions in real-time tracking of data collected from devices and machines used in industrial areas. In such cases, different types of gateways are used to transfer the obtained data to the cloud platforms. This study presents a new design of gateway prototype based on the Internet of Things (IoT), which can be used in industrial areas with low-cost and low power consumption features. Modbus protocol, which is commonly used for data communication in industrial areas, is used to gather the data to be transferred to the cloud platform from the industrial area to the gateway. The Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol, which is popularly used in IoT applications, has been employed to transfer the data collected in the proposed gateway to the cloud platform in a wireless environment. The designed gateway is programmed with an algorithm that is capable of differentiating the gathered data. IBM Watson IoT Platform is adopted for rapid monitoring and storing the data. Also, Mosquitto was used as MQTT server for performance analysis of the gateway designed in the study. Furthermore, for experimental test studies, end-to-end latency and statistical results of different levels of data messages with different levels of service quality such as quality of service (QoS) are shown.

Keywords- *Modbus, MQTT, Gateway, Mosquitto, Internet of Things (IoT)*

I. GİRİŞ

İletişim teknolojilerinin her geçen gün daha fazla gelişim göstermesi ile birlikte günlük ihtiyaçlarımızı ve işlerimizi kolaylaştıran iletişim yeteneğine sahip nesnelerin sayısında artışa yol açmaktadır. Bu nesnelerin birçoğu farklı teknoloji ve iletişim protokolleri ile internete bağlanabilmektedir [1]. İnternete bağlanabilen nesnelerin sayısındaki artış ile birlikte nesnelerin kendi aralarında haberleşebilmeleri üzerine nesnelerin interneti (Internet of Things, IoT) kavramı ortaya çıkmıştır [2]. Nesnelerin interneti uygulamalarının kullanım alanlarından biri de endüstridir. Endüstride bu alan endüstriyel nesnelerin interneti (Industrial Internet of Things, IIoT) olarak adlandırılmaktadır [3].

Makinelerin haberleşmesi, sensörlerden gelen verilerin işlenebilmesi ve depoların takip edilmesi gibi çalışmalarda IIoT uygulamaları hem maliyet hem de zaman açısından avantajlar sağlamaktadır. Endüstriyel nesnelerin interneti uygulamalarında önemli bir problem, verilerin iletişimde farklı protokollerin birlikte çalışabilirliğidir. Modbus protokolü endüstriyel cihazların kendi aralarında veri iletişimini sağlayabilmeleri için geliştirilmiştir [4]. Bu endüstriyel iletişim protokolünün açık kaynak kodlu, kolay anlaşılabilir ve cihazlara kolay uyarlanabilir yapısı nedeniyle üreticiler tarafından sıkça tercih edilen bir iletişim protokolü olmasını sağlamaktadır. Modbus protokolü ile üreticiden bağımsız olarak aynı ağa bağlı olan Modbus destekli tüm cihazlarla iletişim kurulabilmektedir. Verilerin sahadan toplanarak izlenebilmesi ve depolanabilmesi ihtiyacı üzerine bulut teknolojileri geliştirilmiştir. İnternet tabanlı veri iletişimi için geliştirilen Mesaj Kuyruk Telemetri Ulaştırma Protokolü (Message Queuing Telemetry Transport, MQTT) protokolü bulut teknolojilerinde sıkça kullanılmaktadır [5]. Günümüzde IoT platformlarının büyük bir kısmı protokolün minimum kaynak tüketimini hedeflemesi, TCP/IP'nin kullanıldığı işletim sistemlerini (Windows, Linux, MacOS, Android ve IOS) desteklemesi ve milisaniye (ms) düzeyinde haberleşmeye imkan sağlaması gibi güçlü özelliklerinden dolayı MQTT protokolünü tercih etmektedir. Bu doğrultuda verilerin sahadan toplanarak bulut platformlarında izlenmesinde farklı protokollerin birlikte çalışabilmesi önemli hale gelmiştir.

Endüstriyel nesnelerin interneti uygulamalarının belirtilen ihtiyaçları karşılayabilmesinde ağ geçitleri önemli rol oynamaktadır [6]. Cihazlardan toplanan veriler ağ geçidi üzerinden bulut platformuna aktarılmaktadır. Kullanılan ağ geçidi kapsamlı bir protokol desteği sunmalıdır. Bu doğrultuda endüstride ve IoT'nde yaygın olarak kullanılan Modbus ve MQTT protokolleri bu gereksinimleri karşılamaktadır. Tasarlanan prototipin endüstriyel alanda etkinliğinin belirlenebilmesi için yine endüstride elektriksel kısmi deşarj oluşabilecek alanlarda kullanılan PD Annunciator cihazı temel alınmıştır. Elektriksel kısmi deşarj, iki iletken elektrot arasındaki dielektrik malzemesinin yapısında meydana gelen problemlerden kaynaklanarak, tam bir köprü oluşturulmadığı durumda meydana gelen elektriksel boşalma veya kıvılcımdır [7]. Yapılan çalışmalara göre orta ve yüksek gerilimli sistemlerde oluşan sorunların büyük bir kısmı (%80) belirtilen problemden kaynaklanmaktadır [8]. Dielektrik malzemenin yapısını bozabilecek güçte gerilimin olduğu ortamlarda elektriksel kısmi deşarj meydana gelebilir. Belirtilen problemden kaynaklı sorunların, IIoT temelli bir yapı ile çözülmesi güncel bir problem olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, IIoT uygulamalarında ortaya çıkan maliyet, performans ve farklı protokoller arası iletişim problemleri göz önünde bulundurularak bu problemlerin üstesinden gelebilecek ve güncel IoT teknolojilerini destekleyebilen bir ağ geçidi prototipi geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Tasarımın minimum maliyetli olması için Arduino geliştirme kartı kullanılmıştır. Önerilen ağ geçidi prototipinin performansının iyileştirilmesi ve ağ trafiğinin hafifletilmesi için veriler üzerinde farklılığı algılayabilecek bir yazılım geliştirilmiştir. Sistemin IoT platformları ve endüstride kullanılan cihazlarla iletişimi yüksek oranda desteklemesi için MQTT ve Modbus protokolleri tercih edilmiştir. Prototip, farklı protokoller arası iletişim problemini ortadan kaldırmak için MQTT ve Modbus protokolleri arasındaki veri iletişimde gerekli dönüşümleri desteklemektedir. Verilerin bulut platformunda görselleştirilmesini sağlamak için IBM Watson IoT platformu kullanılmıştır [9]. Bu platform ile verilerin gerçek zamanlı izlenebilmesi sağlanmıştır. Prototipin performansının test edilmesinde uçtan uca ortalama gecikme süreleri ve gönderilen toplam kayıt (yazmaç) sayısı, yerelde çalışan Mosquitto sunucusu üzerinde test edilmiştir. MQTT protokolü için iki farklı seviyeli servis kalitesi (Quality of Service, QoS) kullanılmıştır. Veriler köle cihazdan okunarak bulut platformuna saniyede bir kez gönderilecek şekilde belirlenmiştir. Modbus protokolünde ise köle cihazlarının sayısı ve okunacak kayıt sayısının performans üzerinde etkili olduğu göz önünde bulundurularak bu parametrelerde farklı varyasyonlar kullanılarak test sonuçları elde edilmiştir.

Çalışmanın organizasyonu şu şekilde oluşturulmuştur. Bölüm 2’de ağ geçitleri için literatürde yapılmış çalışmalar, Bölüm 3’te tasarlanan ağ geçidi prototipi için önerilen sistem mimarisi ve mimaride kullanılan araçlar hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 4’te tasarımda verilerin okunması, iletilmesi ve görselleştirme aşamaları hakkında detaylıca söz edilmiştir. Bölüm 5’te oluşturulan tasarımın farklı koşullar altında performans ve test sonuçları sunulmuştur. Sonuçlar bölümü ile çalışma sonlandırılmıştır.

II. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

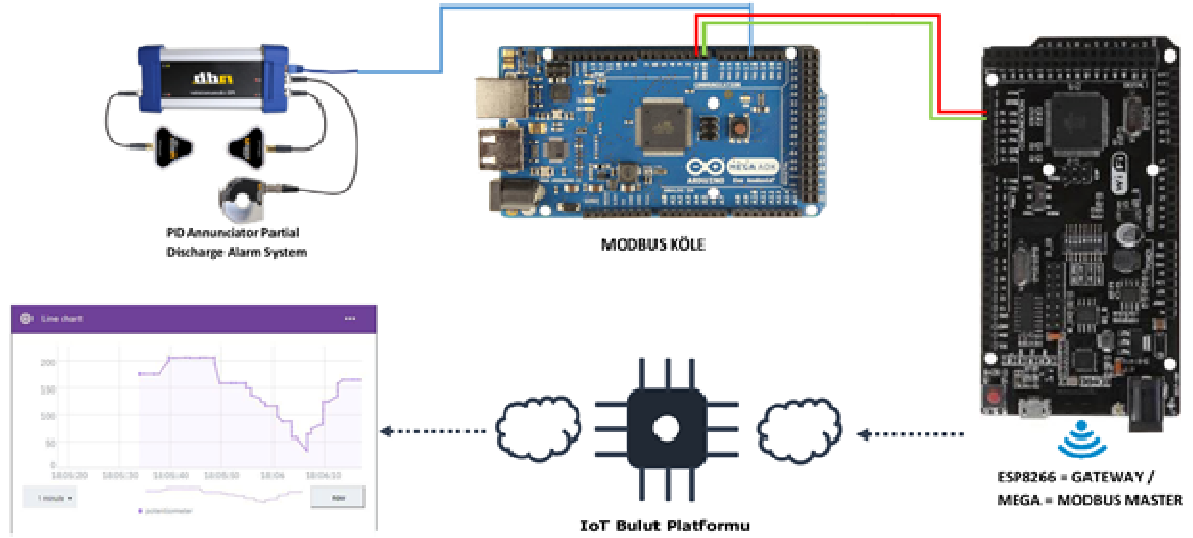
Literatürde, ilk IoT ağ geçidi çalışması 2013 yılında Shinho ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [10]. Shinho ve arkadaşları Nesnelerin İnterneti uygulamalarında sıkça tercih edilen MQTT protokolünün performans analizi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada protokol kablolu ve kablosuz olarak iki ayrı kısımda test edilmiştir. Aditya ve arkadaşları [11], binalarda enerji tüketiminin gün geçtikçe artması üzerine tüketilen enerjinin bulut teknolojisi ile izlenmesi ve kontrol edilebilmesi için IoT ağ geçidi tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Phuc ve Phuoc [12], endüstriyel alanda çalışabilecek bir IoT ağ geçidi prototipi tasarlamışlardır. Bu prototip Linux tabanlı olup, farklı endüstriyel saha veri yollarından ve IoT protokollerinden hızlı ve kolay veri alışverişini sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Ghenadie ve Vasile [13], yerel veri işleme gerçekleştirerek Modbus ağlarının IoT uygulamalarına genişletmeyi amaçlamışlardır. Sistemin performansını farklı sunucular üzerinde test ederek çalışmalarında sunmuşlardır. Feng ve arkadaşları [14], Modbus için yeni bir adaptasyon yöntemi önermişlerdir. Önerdikleri yöntem, Modbus köle verileri ile uygulama verilerini algılama/çalıştırma verileri arasında çift yönlü dönüşüm sağlamaktadır. Dimitru ve çalışma arkadaşları [15], endüstriyel tesislerde Modbus kölelerinden veri toplayan ZigBee tabanlı kablosuz bir veri iletişim sistemi sunmuşlardır. Sistemin kablosuz olması, yapılacak olan Modbus sorgularının tüm cihazlara paralel bir şekilde iletilmesi ile sorgulama hızını arttırmaktadır ve sistemin kurulumunu kolaylaştırmaktadır.

Adnan ve Brennan önerdikleri sistemde [16], farklı gömülü sistemlerle iletişim kurabilen MQTT tabanlı bir tasarım ve uygulama sunmuşlardır. Changqing ve arkadaşları [17], Modbus ve MQTT protokollerini kullanarak IIoT uygulamalarında kullanılacak ağ geçidi için Raspberry Pi ile tasarım sunmuşlardır. Tasarım saha cihazları ve bulut uygulamaları arasında iki yönlü iletişimi desteklemektedir. Ağ geçidinin yapılandırılması web sayfaları aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada literatürde yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak Arduino tabanlı olması ile düşük maliyetlidir. Çalışmada yazılım gereksinimleri dikkate alınarak maliyet etkinliği için iki farklı Arduino geliştirme kartı kullanılmıştır. Kablosuz Bağlantı Alanı (Wireless Fidelity, WiFi) tabanlı Arduino Mega kartı ağ geçidi olarak görev yapmaktadır. PD Annunciator cihazını köle olarak Arduino Mega kartı temsil etmektedir. MQTT üzerinden bulut platformuna aktarılan veriler, farklı hassasiyetlerde gönderilerek veriler üzerindeki değişimi algılayabilen trafiğine fazla yük getirmeyecek bir yazılıma sahiptir. Veriler bulut platformuna tek yönlü olarak iletilmektedir. PD Annunciator cihazına ait veri setindeki değerlerin okunarak görselleştirilmesi için IBM Watson IoT Platformu kullanılmıştır. İki farklı protokol arasında dönüşüm işlemini sağlamaktadır. Tasarımın genel olarak düşük maliyetli ve yüksek performanslı olması amaçlanmaktadır.

III. ÖNERİLEN SİSTEM BİLEŞENLERİ

Endüstriyel alanda kullanılacak ağ geçidini içeren mimarinin genel tasarımı Şekil 1’de verilmiştir. Mimari bir adet WiFi tabanlı Arduino Mega (Esp8266 + Atmega2560) kartı, bir adet Arduino Mega, PD Annunciator veri seti ve IBM Watson IoT platformu bileşenlerinden oluşmaktadır. Sistemin çalışma prensibi şu şekildedir: WiFi tabanlı Arduino Mega kartındaki iki ayrı çipte iki ayrı protokol çalışmaktadır. Esp8266’da çalışan MQTT, Arduino Mega üzerinde çalışan Modbus’tan verileri okuyarak bulut platformuna aktarmaktadır. Bulut platformuna aktarılan verilere bu aşamanın ardından internet erişimi olan herhangi bir noktadan erişim sağlanabilmektedir.



Şekil 1. Endüstriyel IoT ağ geçidi içeren sistem mimarisi

A. WiFi Tabanlı Arduino Mega

WiFi tabanlı Arduino Mega kartı standart Arduino Mega kartlarından farklı olarak üzerinde ESP8266 WiFi modülü barındırmaktadır [18]. Bu durum ek bağlantılar gerektirmeden tek kart kullanılarak internet bağlantısı sağlamaktadır. Kart hem Arduino Mega özelliklerini hem de Esp8266 modülünün özelliklerini bir arada kullanılmasına yardımcı olmaktadır. Her iki özelliğin kullanılmak istenmesi durumunda kod yazılarak eş zamanlı bir şekilde iki kod çalıştırılabilir ya da kodların bağımsız olarak çalıştırılması mümkündür. WiFi tabanlı Arduino Mega kartının üzerinde programların hangi mikro denetleyiciye atılacağını ve kodların nasıl çalıştırılacağını belirlemek için sekizli bir anahtar grubu bulunmaktadır.

B. Arduino Mega

Arduino Mega, Atmel firmasının ürettiği Atmega2560 mikro denetleyicisine sahip bir geliştirme kartıdır. Uno ve Nano gibi diğer Arduino kartlarına göre daha karmaşık projeler için tasarlanmıştır [19]. 54 adet dijital giriş/çıkış pinine ve 16 adet analog giriş pinine sahip olmasından dolayı 3D yazıcılar ve robotik projeler gibi daha geniş çalışmalar için önerilen karttır. Aynı zamanda da elektriksel problemlere karşı dayanıklı mimariye sahiptir.

C. PD Annunciator

PD Annunciator, geliştirilen sensörler ile metal kaplı dolaplar ve trafo merkezi aparatları gibi yüksek oranda elektrikli malzemelerde kısmi deşarj aktivitesini tespit etmek ve raporlamak için tasarlanmıştır [20]. Önemli ölçüde kısmi deşarj tespit edilirse, cihaz uyarı vermektedir. Her bir cihaza üç adet sensör bağlanabilmektedir ve 247 adet cihaz birbirine seri şekilde bağlanabilmektedir. PD Annunciator Modbus Uzaktan Bağlantı Ünitesi (Remote Terminal Unit, RTU) ve Amerikan Standart Kodlama Sistemi (American Standard Code for Information, ASCII) protokollerini kullanmaktadır. Bu protokolün kullanılmasında ki en büyük avantaj, Modbus ağını destekleyen tüm sistemlerle iletişim kurabilmesidir.

D. IBM Watson IoT Platformu

Sektörde sahada elde edilen verilerin takibi ve depolanması için son zamanlarda bulut teknolojilerinin kullanımı yaygınlaşmıştır [21]. IBM Watson IoT platformu bu hizmeti sunan platformlar arasında yer almaktadır. Nesnelerin interneti uygulamalarında ücretsiz üyelik sunarak hızlı bir başlangıç yapmamıza yardımcı

olmaktadır. IoT verilerinin kolay bir şekilde görselleştirilmesi ve depolanması, denetim, bağlantı ve aygıt kaybı gibi yetenekler sağlamaktadır [9].

E. MQTT

Temelde abone olma ve yayınlama esasına dayanan telemetri mesaj protokolüdür [5]. MQTT mimarisinde cihazlar, bir MQTT sunucu kullanarak yayım yapabilir veya istenilen mesajı dinlemek için abone olabilirler. Verilerin güvenliği için Güvenli Giriş Katmanı (Secure Sockets Layer, SSL)/Taşıma Katmanı Güvenliği (Transport Layer Security, TLS) yöntemlerini desteklemektedir. Haberleşmede milisaniye seviyelerinde hızlı veri iletimi ve minimum kaynak tüketimi sağlamaktadır. Sunucu üzerinden haberleşme temeline dayanır. Verilerin istemciye ulaşip ulaşmadığını kontrol edebilen üç farklı servis kalitesinde (QoS) gönderim sağlamaktadır.

F. Modbus

Modbus, usta/köle (master/slave) tabanlı çalışan bir iletişim protokolüdür [4]. Master köle cihazlardan Modbus isteği yaparak veri okumaktadır. Köle cihazlar kendisine bağlı olan her bir bileşene ait değeri kendi hafızasında tutmaktadır. Master cihazdan Modbus isteği geldiği takdirde tuttuğu kayıtları (yazmaç) hafızadan okuyarak göndermektedir. Endüstriyel ortamda sıkça kullanılarak yaygınlaşmasında; akıllı endüstriyel uygulamalar için geliştirilmiş olması, açık bir protokol olması, telif hakkı gerektirmemesi, kendini kanıtlamış bir protokol olması, kullanımının kolay olması ve cihazlara hızlı uyarlanabilir olması gibi etkenler etkili olmuştur.

Modbus protokolü, haberleşme ve fiziksel katman olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Bu çalışmada haberleşme katmanında kablolu iletişimde kullanılan daha etkin performans sağlayan RTU metodu kullanılmıştır. Fiziksel katmanda ise ek bir modül kullanılmadan kablolu seri iletişim kullanılmıştır. Modbus RTU haberleşme ağında 1 adet master ve 247 adet köle cihaz çalışabilmektedir. Verilerin okunmasında ve güncellenmesinde farklı fonksiyonlar kullanılmaktadır. Veri güvenliği için Çevrimsel Hata Denetimi (Cyclic Redundancy Check, CRC) doğrulama anahtarına sahiptir.

IV. IIOT SİSTEM TASARIMI

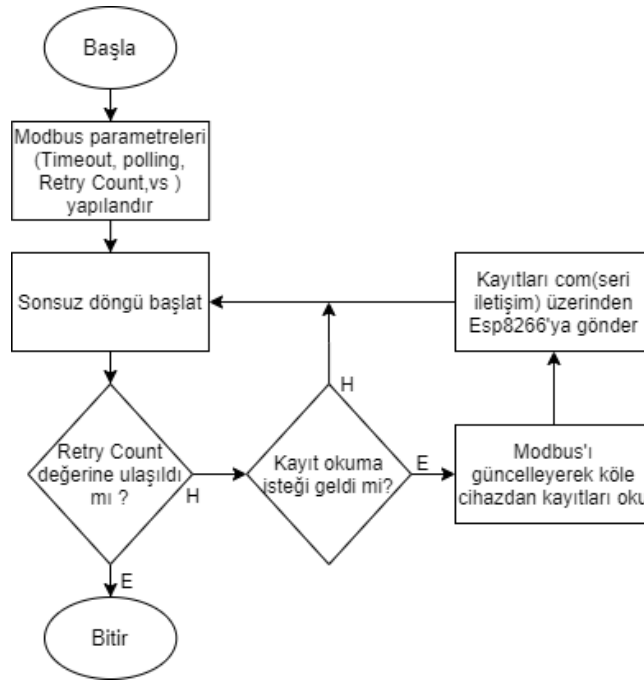
Bu çalışmada tasarlanan prototip sistemin amacı, endüstriyel alanda kullanılacak düşük maliyetli, düşük gecikmeye sahip, ağ trafiğine fazla yük getirmeyecek ve yaygın olarak kullanılan protokoller ile endüstri için çözüm sunabilecek bir ağ geçidi tasarımı sunmaktır. Önerilen sistemde, ağ geçidi olarak görev yapan WiFi tabanlı Arduino Mega hem Modbus master hem de MQTT yayıncı (publisher) olarak görev yapmaktadır. Modbus master; kart üzerinde bulunan Mega'da, MQTT yayıncı ise aynı kart üzerine yerleştirilen ESP8266'da çalışmaktadır. Modbus ağında bulunan köle cihazlara, kısmi deşarj aktivitesi tespiti için kullanılan akustik sensör (Airborne) ve toprak voltajları temas sensörlerinin (Transient earth voltages, TEV) bağlı olduğu PD Annunciator cihazına ait gerçek zamanlı ölçülmüş veriler kaydedilmiştir. Bu sayede köle olarak kullanılacak Arduino Mega kartı gerçek sensörleri temsil edebilmektedir. Toplanan veriler ağ geçidi aracılığıyla IBM Watson IoT Platformuna aktararak görselleştirme işlemi sağlanmaktadır.

A. Veri Toplama

Modbus ağında veriler, master cihaz tarafından saniyede bir kez yapılan istekler doğrultusunda köle cihazlardan okunmaktadır. Modbus isteği yapılmadan önce master üzerinde belirli parametrelerin ayarlanması gerekmektedir. Bu parametreler aşağıda verilmiştir:

- Timeout: Bir okuma isteği yapıldığında veri cevabın beklenme süresidir.
- Polling: Modbus okuma isteğinin sıklığını belirler.
- Retry count: Okuma isteği sonucunda cevap gelmediği durumda tekrar deneme sayısı belirlenir. Eşik değerine ulaşıldığı takdirde master daha fazla istekte bulunmaz.
- Total number of register: Köle cihazlardan okunacak kayıt sayısını belirler.

Timeout = 1000 ms, polling = 1000 ms, retry count = 100 adet ve total no of register = 6, 12, 18, 24, 36, 48 adet parametreleri belirlendikten sonra master her istek yaptığında, gelen cevaptaki verileri kendi hafızasında bulunan “regs” adı verilen kayıt dizisinde tutmaktadır. Ağ geçidi olarak kullanılan Arduino kartında bulunan Mega, COM port üzerinden ESP8266 modülüyle haberleşebilmektedir. Master, COM portu aracılığıyla MQTT’den aldığı kontrol sinyali üzerine kayıt dizisinde tuttuğu verileri string formatına dönüştürerek tekrar aynı port üzerinden MQTT’ye göndermektedir. COM portu kullanılarak verilerin seri iletişim kanalından gönderilmesi iki farklı protokol arasındaki birliktedir çalışma problemini ortadan kaldırmaktadır. Veri toplama algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Modbus ile veri toplama

B. Veri Yayınlama

Tasarlanan prototipin en önemli aşaması verilerin bulut platformuna aktarılmasıdır. Bu aşamada verilerin gönderim sıklığı ve veri boyutu sistemin ve ağı performansı önemli ölçüde etkilemektedir. MQTT ile veri gönderiminde, yayınlama sıklığı Modbus protokolüyle paralel bir şekilde çalışması amaçlanarak veriler saniyede bir kez gönderilecek şekilde ayarlanmıştır. Böylelikle hem ağı çok fazla kullanımının önüne geçilmiş hem de Modbus’ta yenilenen verilerde oluşabilecek senkronizasyon problemi sonrasında oluşabilecek kayıpların önlenmesi gerçekleştirilmiştir. Veri boyutunun ağı üzerindeki yüke etkisinin azaltılması için prototip ağ geçidi üzerinde gelen verilerin kontrol edildiği bir yazılıma sahiptir. Modbus ağından okunan her sensöre ait veri bir sonraki iterasyonda kullanılmak üzere hafızada tutulmaktadır. Tutulan sensör verileri yeni gelen veriler ile karşılaştırılmaktadır. Eğer sensörlerden okunan verilerden değişim göstermeyen veri olduğu durumda, ağı aşırı yüklenmesini ve aynı verilerin tekrar gönderilmesini engellemek için değişim göstermeyen sensör verisi MQTT mesajına eklenmemektedir. Bu işlem farklı veri hassasiyetlerinde gerçekleştirilebilmektedir. Böylece ağ üzerinde gereksiz mesajların gönderilmesinin önüne geçilmektedir.

Kullanılan IBM Watson IoT Platformu diğer bulut teknolojilerinde olduğu gibi belirli bir MQTT formatını kullanmaktadır. Platform, gönderilen tüm verilerin JSON mesaj formatında gönderilmesini desteklemektedir. Gelen veriler işlenerek gönderilmesine karar verilen değerler belirlenen JSON formatına dönüştürülerek bulut platformuna aktarılmaktadır. Verilerin gönderilmesinde kullanılan algoritmanın sözde kodu Şekil 3’te verilmiştir.

Algoritma_1 –GatewayMesajYayınlama(Data)

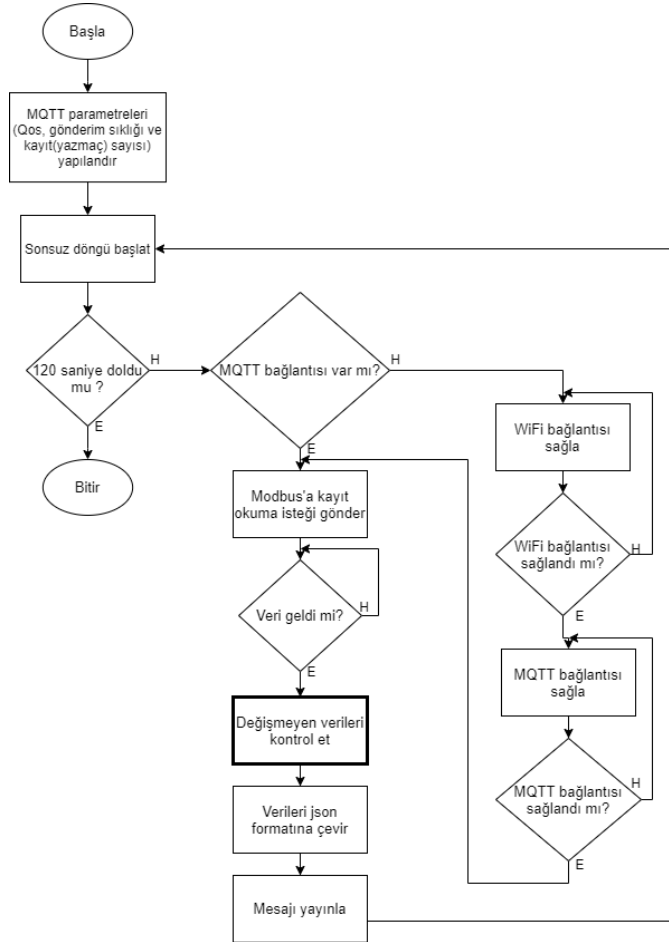
Giriş: Data-Modbus’ın köle cihazlardan okuduğu kayıtlar

Çıkış: Payload-Okunan kayıtları kullanılarak MQTT için hazırlanan mesaj

1. Mesaj yayınlama programını başlat
2. MQTT ve WiFi bağlantıları için kullanıcı adı, parola ve sunucu parametreleri tanımla
3. MQTT ve WiFi bağlantılarını sağla
4. Eğer MQTT bağlantısı yoksa 3.adıma git
5. 120 saniyelik çalışma süresi doldu mu?
6. Evet ise 12.adıma git hayır ise devam et
7. Modbus’a veri okuma isteği gönder
8. Değişmeyen verileri kontrol et
9. Gönderilmesine karar verilen verileri uygun MQTT mesaj formatına çevir
10. Belirlenen konuda (topic) yayın yap
11. 5.adıma git
12. Bitir

Şekil 3. Mesaj yayınlama algoritması

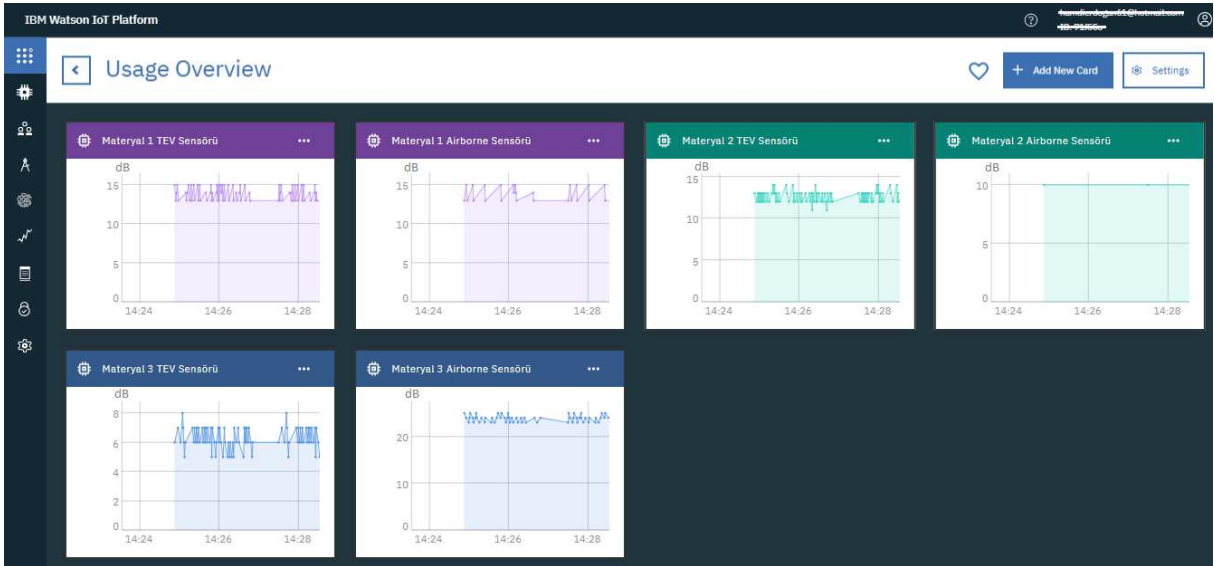
Şekil 3’te verilen algoritmaya ait akış diyagramı Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. MQTT ile mesaj yayınlama

C. Verilerin Bulut Platformunda Görselleştirilmesi

Ağ geçidinin üçüncü kısmı olan verilerin bulut platformunda görselleştirilmesi aşamasında IBM Watson IoT platformu kullanılmıştır. IBM Watson IoT platformu aynı zamanda MQTT sunucusu olarak görev yapmaktadır. Platforma veri gönderildiği gibi, platformda çalışan broker üzerinden veriler okunabilmektedir. Bulut platformuna bağlantı sağlayabilmek için üyelik işlemi tamamlandığında benzersiz kimlik numarası oluşturulmaktadır. Platforma veri gönderecek cihaz platforma kaydedilirken, cihazı sistem üzerinde isimlendirmek için belirlenen bir isim ve cihazın MAC adresi kullanılarak cihaz platforma kaydedilmektedir. Cihaz eklendikten sonra otomatik olarak token kodu oluşturulur. Bağlantı sağlamak için benzersiz kimlik numarası, cihaza verilen isim ve cihazın MAC adresi birleştirilerek istemci benzersiz kimliği oluşturulur. Kullanıcı adı olarak platformda sabit olarak “use-token-auth” kullanılır. Parola olarak ise otomatik oluşturulan token kullanılmaktadır. Belirtilen parametreler oluşturulduktan sonra MQTT kullanılarak bulut platformu ile bağlantı sağlanabilmektedir. Verilerin görselleştirilmesi için platformda tablolar oluşturulur. Tablo oluşturulurken etkinlik (event) ve konu (topic) adları belirlenir. Veriler etkinlik ve konu adlarına göre veriler MQTT yayıncı tarafından yayınlanarak platformda oluşturulan tablolarda görüntülenir. Platformda oluşturulan her bir tabloda sahadan toplanan bir adet sensöre ait veri gösterilmektedir. Bulut Platformunda verilerin görselleştirilmesi Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. IBM Watson IoT Platformu

V. PERFORMANS VE TEST ANALİZİ

Bu bölümde tasarlanan ağ geçidinin veri iletimi üzerinde yapılan testler ile elde edilen performans sonuçları verilmiştir. Test aşamasında tasarlanan ağ geçidinde kullanılan Modbus ve MQTT protokollerinde performansa etki edebilecek Modbus köle sayısı, Modbus okunacak kayıt sayısı, okunan verilerin hassasiyeti ve MQTT QoS seviyesi parametreleri üzerinde farklı varyasyonlar uygulanarak ağ geçidinin performansı ölçülmüştür. Test sonuçları, veriler üzerindeki değişimi kontrol edebilen algoritma ile tasarlanan sistem ve herhangi bir kontrol algoritması bulunmayan sistem olmak üzerinde iki yarı sistem kullanılarak elde edilmiştir.

Geliştirilen sistem, Windows 10 işletim sisteminde yerelde çalışan Mosquitto sunucusu kullanılarak test edilmiştir. Modbus protokolündeki köle cihazlar ve köle cihazlardan okunacak kayıt sayıları performans üzerinde belirleyici etken olarak rol oynamaktadır. MQTT protokolünde ise verilerin yayınlamasında kullanılan servis kalitesi seviyeleri ve veri yükü performansa etki etmektedir. Test süresince bu parametrelerin sistem üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir.

Sistem bileşenlerinden olan Modbus master, köle cihazlara gömülen PD Annunciator cihazından gerçek zamanlı okunan sensör verilerini toplamaktadır. Test aşamasında bu verilerin 120 saniyelik süre içerisinde elde edilen sonuçları kullanılmıştır. Köle cihazlardan okunan kayıt sayılarının belirlenmesinde gerçek veriler, sensör sayısının katları şeklinde birleştirilmiştir. Okunan her bir kayıt köle cihaza bağlı olan bir adet sensörden alınan değere karşılık gelmektedir. Performansı etkileyecek olan diğer bir Modbus parametresi ise köle sayısıdır. Test sonuçları master cihaza 1 ve 2 adet köle cihaz bağlanarak iki ayrı durumda incelenmiştir. Prototipte yapılan testlerde MQTT mesaj iletimi için QoS 0 ve QoS 1 seviyelerini kullanılmıştır. MQTT mesaj yükü ağ trafiğini ve sistem performansını olumsuz etkilemektedir. Bu doğrultuda tasarlanan kontrol algoritmasına sahip sistem belirtilen hususlara katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Verilerin değişmeme durumunda veri hassasiyetinin etkisi göz ardı edilmeyecek kadar önemlidir. Veri setindeki değerler üç farklı hassasiyette kullanılmıştır. Okunan değerler tam sayı, onda bir ve yüzde bir olacak şekilde bulut platformuna aktarılmaktadır. Tasarlanan kontrol algoritmasına sahip sistemin etkisi belirtilen üç farklı hassasiyette incelenmiştir.

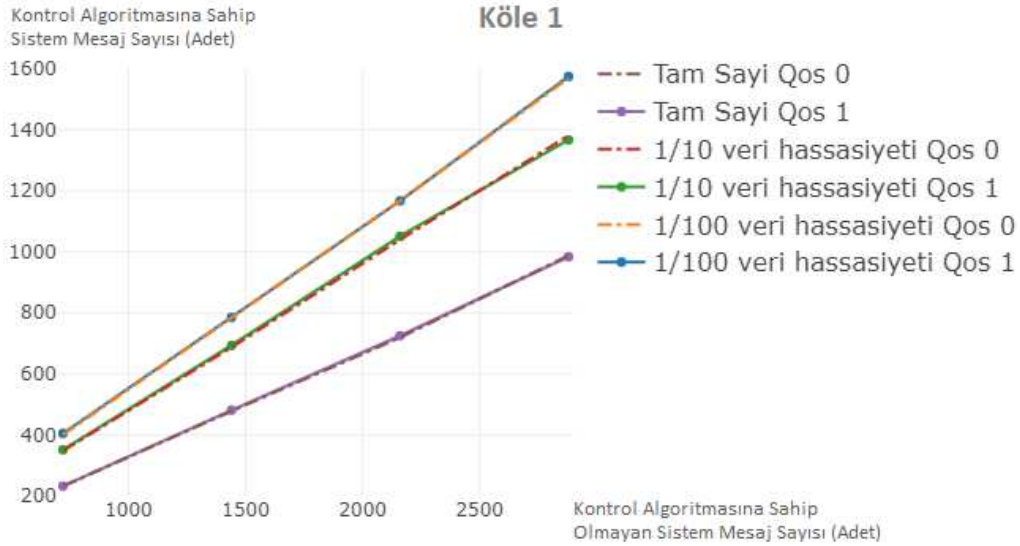
Tablo 1’de ağ trafiği ve sistem performansı üzerinde tasarlanan kontrol algoritmasına sahip sistemin ve herhangi bir kontrol algoritması bulunmayan sistemin etkileri verilmiştir. Elde edilen sonuçlar 120 saniyelik ölçümlere dayanmaktadır. İki sistem için, köle sayısı, QoS seviyesi, okunan kayıt sayısı ve veri hassasiyeti üzerinde farklı varyasyonlar kullanılarak bulut platformuna gönderilen toplam kayıt sayıları (herbir sensörden okunan değer) verilmiştir. Örnek olarak köle sayısı 1, QoS seviyesi 0 ve köle cihazdan okunacak kayıt sayısı 6 dikkate alındığında kontrol algoritmasına sahip olmayan sistemde bulut platformuna 120 saniye sonunda toplam 720 kayıt gönderilirken, tasarlanan kontrol algoritmasına sahip olan sistemde tam sayı, onda bir ve yüzde bir hassasiyetinde olacak şekilde sırasıyla 232, 348 ve 400 adet kayıt sayısı bulut platformuna aktarılmıştır. Tasarlanan kontrol algoritmasına sahip sistemin herhangi bir kontrol algoritması bulunmayan sisteme göre ağ trafiği üzerinde olumlu etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 1. Kontrol algoritmasına sahip olan ve olmayan sistemler için toplam gönderilen kayıt sayıları

Köle Sayısı	QoS Seviyesi	Okunan Kayıt	120 Saniyede Gönderilen Toplam Kayıt Sayıları					
			Kontrol Algoritmasına Sahip Olmayan Sistem Veri Formatı			Tasarlanan Kontrol Algoritmasına Sahip Olan Sistem Veri Formatı		
			Tam Sayı	1/10 veri hassasiyeti	1/100 veri hassasiyeti	Tam Sayı	1/10 veri hassasiyeti	1/100 veri hassasiyeti
1	0	6		720		232	348	400
1	0	12		1440		478	687	785
1	0	18		2160		719	1040	1167
1	0	24		2880		988	1381	1569
1	1	6		720		232	351	405
1	1	12		1440		481	693	785
1	1	18		2160		725	1051	1167
1	1	24		2880		984	1394	1575
2	0	12		1440		378	591	645
2	0	24		2880		790	1100	1110
2	0	36		4320		1011	1409	1931
2	0	48		5760		1624	2031	2577
2	1	12		1440		392	551	690
2	1	24		2880		703	1183	1155
2	1	36		4320		1113	1593	1996
2	1	48		5760		1696	2323	2672

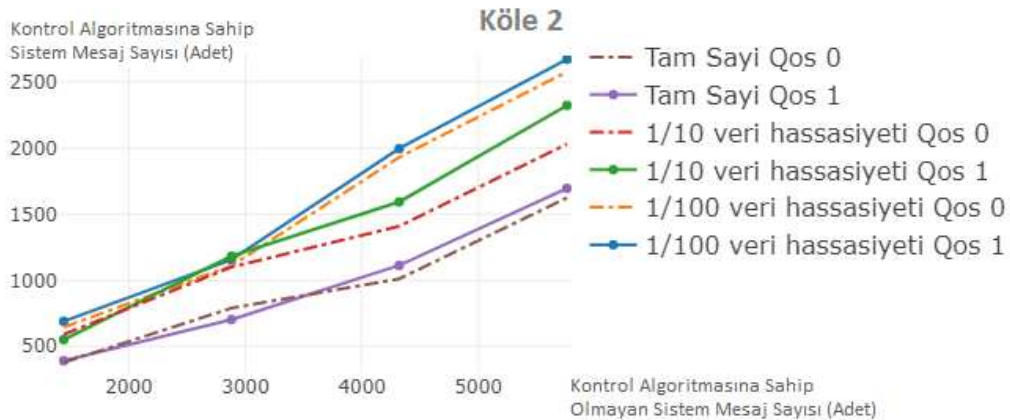
Şekil 6’da Modbus köle sayısı 1 olduğu durumda tasarlanan kontrol algoritmasına sahip olan sistemin kontrol algoritmasına sahip olmayan sisteme göre olumlu etkisi grafiksel olarak verilmiştir. Buna göre,

tasarlanan kontrol algoritmasına sahip sistemin sensör verilerinin hassasiyetine göre 120 saniyelik belirlenen süre içerisinde gönderdiği toplam kayıt sayısı sunulmuştur. Veri hassasiyetleri dikkate alındığında, veriler tam sayı olarak gönderildiğinde değişim diğer iki hassasiyete göre daha az görülmektedir. Bundan kaynaklı olarak bulut platformuna gönderilen kayıt (yazmaç) sayısı, veri hassasiyeti tam sayı olduğunda diğer iki hassasiyete göre daha az sayıda gönderilmektedir. Bu durum ağ üzerindeki yükün hafiflemesine yardımcı olmaktadır.



Şekil 6. 1 köle için gönderilen toplam kayıt sayısı

Şekil 6'da köle sayısı 1 iken gönderilen toplam kayıt sayıları verilirken, Şekil 7'de ise köle sayısı 2 olduğunda gönderilen toplam kayıt sayılarına ait sonuçlar verilmiştir. Köle sayısı 2 olduğunda okunan kayıt sayısındaki artış bulut platformuna gönderilen toplam kayıt sayısını etkilemektedir. Ancak veri hassasiyeti yüzde bir ve QoS seviyesi 1 olduğu durum göz önüne alındığında tasarlanan kontrol algoritmasına sahip sistem, değişimi algılayamayan sisteme göre bulut platformuna gönderilen veri sayısında büyük oranda düşüş sağladığı görülmektedir. Bu doğrultuda köle sayısındaki ve kayıt sayısındaki artışın, kontrol algoritmasına sahip sistem sayesinde ağ üzerindeki yüklenmeye etkisini minimum düzeye indirgeye yardımcı olmaktadır.



Şekil 7. 2 köle için gönderilen toplam kayıt sayısı

Tablo 2’de sistemin performansına etki edecek Modbus köle sayısı, okunan kayıt (yazmaç) sayısı, veri hassasiyeti ve MQTT QoS seviyesi parametrelerinin değişimine göre 120 saniyelik veri gönderimi sonucunda oluşan uçtan uca ortalama gecikme süreleri verilmiştir. Örnek olarak tasarlanan kontrol algoritmasına sahip sistemde köle sayısı 1, QoS seviyesi 0, okunacak kayıt sayısı 6 ve veri hassasiyeti tam sayı iken gecikme süresi 1.90 ms olarak ölçülmüştür. Aynı parametrelerde kontrol algoritmasına sahip olmayan sistemde ise ölçülen gecikme süresi 2.24 ms’dir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında kontrol algoritmasına sahip sistemin daha performanslı olduğu açıktır. Aynı parametreler kullanılarak yalnızca QoS seviyesi 1 olduğu durumda gecikme süresinde ciddi artış gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise MQTT QoS 1 ile mesaj iletişimde mesajın en az bir kez iletileceği garanti edilir. Bunu için aboneden mesajı aldığına dair cevap mesajı beklenir. Bu nedenle QoS 1 ile mesaj iletişimde gecikme sürelerinde artış görülmektedir. Verilen parametreler kullanıldığında kontrol algoritmasına sahip olmayan sistemde gecikme süresi 61.06 ms ölçülmüştür. Aynı parametreler kullanılarak kontrol algoritmasına sahip sistemde gecikme süresi 60.94 ms’dir. Sonuçlara bakıldığında kontrol algoritmasına sahip sistem, diğer sisteme göre hem QoS 0 hem de QoS 1 seviyesinde mesaj iletişimde olumlu sonuçlar vermiştir. Okunan kayıt sayılarındaki farkların fazla değişim göstermemesinin sebebi Arduino kullanılan Modbus Kütüphanesi bir köle cihazından maksimum 29 kayıt okuyabilir olmasıdır [22]. Kayıt sayılarında önemli bir artış göstermemesine rağmen QoS 0 seviyesinde tutarlı değişimler gözlemlenmektedir.

Tablo 2. Kontrol algoritmasına sahip olan ve olmayan sistemler için ortalama gecikme süreleri

Köle Sayısı	QoS Seviyesi	Okunan Kayıt	120 Saniyelik İstatistiksel Sonuçlar					
			Kontrol Algoritmasına Sahip Olmayan Sistem İçin Ortalama Gecikme Süreleri (ms)			Tasarlanan Kontrol Algoritmasına Sahip Olan Sistem İçin Ortalama Gecikme Süreleri (ms)		
			Tam Sayı	1/10 veri hassasiyeti	1/100 veri hassasiyeti	Tam Sayı	1/10 veri hassasiyeti	1/100 veri hassasiyeti
1	0	6	2.24	2.09	2.22	1.90	1.90	2.08
1	0	12	3.29	3.07	3.31	2.62	2.63	2.91
1	0	18	4.43	4.03	4.28	3.41	3.30	3.71
1	0	24	5.43	4.97	5.42	4.18	3.91	4.62
1	1	6	61.06	61.39	61.29	60.94	61.09	61.45
1	1	12	60.92	61.48	61.35	61.29	61.33	61.76
1	1	18	61.42	61.68	61.81	61.51	61.55	61.92
1	1	24	62.08	61.78	62.22	61.67	61.63	62.03
2	0	12	3.43	3.07	3.34	2.65	2.52	2.81
2	0	24	5.5	5.07	5.50	3.92	3.69	6.32
2	0	36	7.46	6.97	7.55	5.38	4.93	5.87
2	0	48	9.79	8.73	9.67	6.89	6.21	7.36
2	1	12	61.28	61.13	61.07	61.21	61.22	62.26
2	1	24	61.88	61.83	62.06	61.97	61.39	62.78
2	1	36	63.29	62.79	64.01	62.65	62.03	63.26
2	1	48	64.55	64.73	65.35	63.48	62.62	64.93

VI. SONUÇLAR

Bu çalışmada endüstriyel IoT uygulamalarında kullanılacak verilerin sahadan toplanarak bulut platformuna aktarılmasını sağlayacak bir ağ geçidi prototipi sunulmuştur. Prototip içerisinde barındırdığı kontrol algoritmasına sahip sistem ile kontrol algoritmasına sahip olmayan bir ağ geçidine göre amaçlandığı doğrultuda daha performanslı sonuçlar vermiştir. Hem bulut platformuna gönderilen kayıt sayısı hem de ortalama gecikme süresi açısından olumlu sonuçlar vermiştir. Mesajların gönderilmesinde ağ trafiğindeki iyileşmeye bakıldığında, bir mesajın boyutu ortalama 50 bayttır. Genel olarak bir örnek üzerinde bakıldığında Tablo 1’de veri hassasiyeti

1/10 iken kontrol algoritmasına sahip olan sistem, kontrol algoritmasına sahip olmayan sisteme göre ağ trafiğinde ortalama %39.69'luk iyileşme göstermiştir. Tasarlanan prototip, bulut platformlarına bağlantı desteği sağladığı için sahada toplanan verilerin istenilen yer ve zamanda gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda sistem Arduino tabanlı olduğu için düşük maliyetlidir. Sistem, IIoT uygulamalarında sıkça kullanılan Modbus ve MQTT protokollerinin bir arada çalışmasını desteklemektedir. Uygulamalarda kullanılabilirlik açısından hem maliyet olarak hem de performans olarak tercih edilebilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde her türlü katkı ve desteklerini sağlayan GENETEK Güç Enerji Elektrik Sistemleri Özel Eğitim ve Danışmanlık San. Tic. Ltd. Şti. teşekkürlerini sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17, 2347-2376.
- [2] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29, 1645-1660.
- [3] Gilchrist, A.(2016). Industry 4.0: The Industrial Internet of Things. Apress, Thailand,259.
- [4] Deveci, F. (2016). *Tarihi Haberleşme Metodu: Modbus RTU*. <http://www.firatdeveci.com/>, <http://www.firatdeveci.com/tarihi-haberlesme-metodu-modbus-rtu/>, (25.10.2019).
- [5] Shinde, S.A., Nimkar, P.A., Singh, S., Salpe, V.D, Jadhav Y.R. (2016). MQTT-Message Queuing Telemetry Transport protocol. *International Journal of Research*, 3, 240-244.
- [6] Astarloa, A., Bidarte, U., Jimenez, J., Zuloaga, A., Lazaro, J. (2018). Intelligent gateway for Industry 4.0-compliant production. IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 23-26 October 2016, Italy, 4902-4907.
- [7] Lundgaard, L.E. (1992). Partial discharge. XIV. Acoustic partial discharge detection-practical application. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 8, 34-43.
- [8] IEEE Standart (2006). IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems, in IEEE Std P493/D4.
- [9] IBM. (2015). *IBM Watson IoT Platform*. <https://www.ibm.com/watson/>, <https://www.ibm.com/cloud/watson-iot-platform>, (06.12.2019).
- [10] Lee, S., Kim, H., Hong, D.K., Ju, H. (2013). Correlation Analysis of MQTT Loss and Delay According to QoS Level, The International Conference on Information Networking 2013 (ICOIN), 11 April 2013, 714-717.
- [11] Nugur, A., Pipattanasomporn, M., Kuzlu, M., Rahman, S. (2018). Design and Development of an IoT Gateway for Smart Building Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 1-10.
- [12] Nguyen-Hoang, P., Vo-Tan, P. (2019). Development An Open-Source Industrial IoT Gateway. 2019 19th International Symposium on Communications and Information Technologies, 25-27 September 2019, Vietnam, 201-204.
- [13] Corotinschi, G., Gaitan, V.G. (2018). Enabling IoT connectivity for Modbus networks by using IoT edge gateways. 14th International Conference on DEVELOPMENT AND APPLICATION SYSTEMS, 24-26 June 2018, Romania, 175-179.

- [14] Shu, F., Lu, H., Ding, Y. (2019). Novel Modbus Adaptation Method for IoT Gateway, 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), 06 June 2019, China, 632-637.
- [15] Tranca, D.C., Palacean, A.V., Mihiu, A.C., Rosner, D. (2017). ZigBee based wireless Modbus Aggregator for Intelligent Industrial Facilities, 2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR), 21-22 November 2017, Serbia.
- [16] Shaout, A., Crispin, B. (2018). Using the MQTT Protocol in Real Time for Synchronizing IoT Device State, *The International Arab Journal of Information Technology*, 15, 515-521.
- [17] Sun, C., Guo, K., Xu, Z., Ma, J., Hu, D. (2019). Design and Development of Modbus/MQTT Gateway for Industrial IoT Cloud Applications Using Raspberry Pi, *IEEE Internet of Things Journal*, 2, 2267-2271.
- [18] Koyanagi, F. (2018). *Arduino MEGA 2560 With WiFi Built-in - ESP8266*. <https://www.instructables.com/>, <https://www.instructables.com/id/Arduino-MEGA-2560-With-WiFi-Built-in-ESP8266/>, (28.11.2019).
- [19] Erman, Z. (2017). *Arduino MEGA 2560*. <http://roboromania.ro/>, <http://roboromania.ro/datasheet/Arduino-Mega-2560-roboromania.pdf>, (28.11.2019).
- [20] Genetek. *PD Annunciator - GENETEK Güç, Enerji, Elektrik Sistemleri*. <https://genetek.com.tr/>, <https://genetek.com.tr/wp-content/uploads/2019/03/PD-Annunciator-TR.pdf>, (18.09.2019).
- [21] Bayılmış, C., Küçük, K. (2019). Nesnelerin İnterneti: Teori ve Uygulamaları. Papatya Bilim, Türkiye, 256.
- [22] Crespo, E. (2016). *Simple Modbus Master*. Github, <https://github.com/jecrespo/simple-modbus/blob/master/Modbus%20RTU%20libraries%20for%20Arduino/SimpleModbusMasterManual.pdf>, (28.11.2019).

Araştırma Makalesi - Research Article

Açısal Duruş Kontrolü Destekli Özgün bir Dinamik Pencere Yaklaşımı

Suat KARAKAYA^{1*}, Hasan OCAK²

Geliş / Received: 18/03/2020

Revize / Revised: 05/05/2020

Kabul / Accepted: 16/05/2020

ÖZ

Bu çalışmada mobil robot sistemleri için hareket planlama probleminde sıklıkla uygulanan Dinamik Pencere Yaklaşımı (DWA) metoduna bir açısal son duruş kontrolü önerilmiştir. Standart uygulamada bir başlangıç ve hedef konumu arasında yol planlama işlevi gören metot hedef konumu için bir açısal duruş kontrolü veya noktasal stabilizasyon sağlamamaktadır. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak için çalışılan harita üzerinde bir “sanal garaj” tanımlanarak nihai hedefe yakınsadıkça değişen, adaptif bir yörünge takip prosedürü tanımlanmış, nihai konumda sistemin belli bir duruş açısında konumlanması sağlanmıştır. Yapılan testler sonucunda hesaplanan açısal duruş hataları tatmin edici sonuçlar elde edildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler - Dinamik Yol Planlama, Pozisyon Kontrolü, Dinamik Pencere Yaklaşımı.

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: suatronik@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-3082-0304>)

Mekatronik Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, İzmit 41001, Mühendislik Fakültesi A blok, Umuttepe, Kocaeli

²İletişim: hocak@kocaeli.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9539-6583>)

Mekatronik Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, İzmit 41001, Mühendislik Fakültesi A blok, Umuttepe, Kocaeli

A Novel Dynamic Window Approach Supported by Posture Control

ABSTRACT

In this study, a final posture control method is proposed to the Dynamic Window Approach (DWA) which is frequently used in the motion planning problem for mobile robot systems. In common DWA applications, the method that performs the path planning task between a start and target position does not provide an angular posture control or point stabilization for the target position. In order to solve this problem in the literature, a “virtual garage” was defined on the map, and an adaptive trajectory tracking procedure that varies as the robot converged to the target pose was defined, and the system was positioned at a certain heading angle in the target position. The angular posture errors calculated as a result of the tests proved that satisfactory results were obtained.

Keywords - Dynamic Path Planning, Posture Control, Dynamic Window Approach

I. GİRİŞ

Hareket planlama, robotun başlangıç konumu ile hedef konumunu birbirine geometrik olarak bağlayan, kabul edilebilir bir güvenlik düzeyinde planlanmış yörüngelerin hesaplanmasıdır. Kinematik ve dinamik kısıtlara bağlı olarak oldukça zengin bir literatüre sahip olan hareket planlama teknikleri, en temel seviyede iki ana bölüme ayrılabilir: global ve lokal hareket planlama yöntemleri.

Global hareket planlama yöntemleri engellerle ilgili ön bilgileri kullanır ve engel unsurları içermeyen alan içindeki (serbest uzay) başlangıç konumu ile hedef konumu arasında yörüngeler oluşturur. Bu yöntemlerde en temel varsayım, engellerin statik olması ve sensör verileri ile çalışma zamanı içerisinde haritanın değişmemesidir. Hücre ayrıştırma yaklaşımı (cell decomposition) [1], rastgele ağaçlar yöntemi (RRT) [2, 3], potansiyel alan (PF) yöntemi [4], olasılıksal yol haritası (PRM) metodu [5] bu sınıfta yer alır. Engel yerleşim planının doğruluğu bu yaklaşımların performansını doğrudan etkilemektedir. Ortam yerleşim planı ve kinematik modelin karmaşıklığı algoritmanın işlem süresini dramatik biçimde yükseltmektedir. Gerçek zaman uygulamalarında donanımsal gereksinimler üst düzeydedir.

Ortam ve robot hareketi belirsizse; sonuç olarak, herhangi bir küresel hareket planı engellerden sakınma açısından gerçekçi bir uygulama olmamaktadır. Lokal hareket planlama yöntemleri, çevresel sensör bilgileri ve hedef konumunu kullanarak robot manevralarını değiştirmeye odaklanır. Bu yöntemler ile kontrol edilen sistemler hedef noktasına doğru yönelirken engel konfigürasyonunu özyineli olarak algılar ve bunlardan kaçınmak için gerekli aksiyonları gerçekleştirir. Global planlayıcılara göre en temel avantajları düşük hesaplama karmaşıklığıdır, çünkü bu yöntemler çevre hakkındaki bilgilerin sadece kısıtlı bir bölümünü kullanır. Lokal hareket planlama yöntemleri kendi sınıfında yönelim tabanlı (directional) ve hız uzay (velocity-space) yöntemleri olmak üzere iki türe ayrılır [6]. Yönlü yaklaşımlar engelsiz navigasyon için uygun robot istikamet açısını hesaplar.

Yönelim tabanlı yaklaşımlar, uygulandıkları sistemin kinematik kısıtları dahilinde anlık oryantasyon açısını hesaplar. Bu açısız pozisyonu sağlamak için ekstra hız kontrolü uygulanır ve navigasyon problemi kapalı çevrim bir kontrol sistemi olarak ele alınır. Vektörel alan histogramı (VFH) [7] ve açıklık takip metodu (FGM) [8] yönelim tabanlı hareket planlama yöntemlerine örnek olarak verilebilir.

Hız uzay yöntemleri güvenli navigasyon gerçekleştirmek için sistemlerin dinamik özelliklerini göz önünde bulundurur. Birim zamanda ulaşılabilecek hız ve ivme limitleri temel alınarak modele uygun kısmi yörüngeler oluşturan doğrusal ve açısız hız komutları üretmektedirler. Timed-elastic-band (TEB) [9], lattice planlayıcı [10] ve Dinamik Pencere Yaklaşımı (DWA) [11, 12] bu sınıfta bulunan yöntemlerden en yaygın kullanılanlarıdır. Bu yöntemler bir optimizasyon fonksiyonunu çözümlenerek en düşük maliyetli hız verilerini optimal çözüm olarak sunmaktadır. Sistemin nihai duruş açısının kontrolü (nokta stabilizasyonu) problemi de optimizasyon fonksiyonunun bir bileşeni olarak değerlendirildiğinde bu durum gerçek zamanlı uygulamalar için ekstra bir işlem yükü getirmektedir. Oluşan ek işlem maliyetleri, sistemin dinamik sınırlarının altında bir hızda çalışmasına neden olabilmektedir.

Bu çalışmada açısız pozisyon kontrolü optimizasyon sürecinin dışında tutularak düşük işlem maliyetine sahip geometrik bir çözüm sunulmuştur. Sanal garaj olarak isimlendirilen metod, nihai hedefe belli bir eşik değeri kadar yaklaşan mobil robot sisteminin statik bir referans yörüngesi takip etmesi prensibine dayanmaktadır. Makalenin düzeni şu biçimdedir: 2. Bölümde DWA metodunun teorik arka planı verilmiştir. 3. Bölümde açısız duruş kontrolü ve referans yol planlama açıklanmıştır. 4. Bölümde holonomik kısıtlara sahip bir model üzerinde açısız duruş kontrolünün uygulama çıktıları sunulmuştur. Bu bölümde aynı zamanda çalışmanın ilgili araştırmacılar tarafından ileri aşamalara taşınması için öngörülen iyileştirmeler tartışılmaktadır.

II. DWA METODU

Dinamik pencere yaklaşımı (Dynamic Window Approach-DWA), mobil robot dinamik kısıtlarını dikkate alarak belli bir zaman periyodu dâhilinde, belli bir çözünürlükte, robot kütesinin sahip olabileceği ivme için belirli hız aralıklarını ve dolaylı olarak bu hızlara erişildiğinde elde edilecek kısmi yörüngeleri sağlamaktadır. Bu hesaplamaları, merkezi robotun anlık konumu olan bir pencere sınırlarında gerçekleştirir. Bu pencere içerisinde çarpışmaya neden olacak açısız ve doğrusal hız bileşenleri filtrelenerek, kalan hız çiftleri

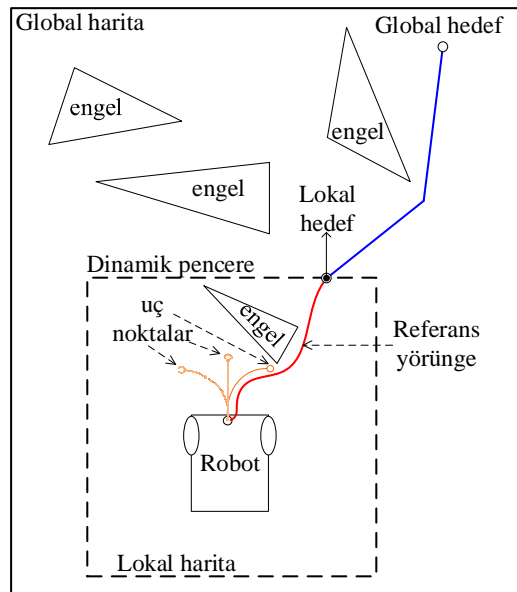
arasında optimal hız bileşenlerini hesaplanır. Bu aşamada bir maliyet fonksiyonu tanımlanmaktadır. Maliyet fonksiyonu robotun hızını, en yakın engelle olan uzaklığını, lokal hedefe olan yakınlığı ve izlenen yörüngeye olan en kısa mesafeyi içeren bir formdadır. Bu fonksiyonu maksimum yapan açısal ve doğrusal hız çiftleri optimal olarak belirlemek için kullanılmaktadır. Mobil robot ile eş merkezli olarak tanımlanan lokal pencere, global harita üzerinde robotun sonraki adımlarda bulunduğu konuma bağlı olarak yer değiştirmektedir. Yöntemle ilgili işlem adımlarını sözel ifadelerle gösteren figür kod Şekil 1’de verilmiştir.

Tanımlı bir zaman periyodunda belli hızlarda robotun ilerlemesi durumunda çarpışma meydana gelip gelmeyeceği kontrol edilerek, eğer çarpışma söz konusu ise ilgili hız çiftlerinin filtrelenmesi sağlanmaktadır. Planlanan çarpışmasız alt yörüngeler robotun holonomik kısıtlarından dolayı bir yay formunda oluşmaktadır. Bu yay görünümlü kısmi yörüngelerin uç noktalarının lokal hedefe yakınlığı, yörüngeyi oluşturan ayırık noktalara olan engel uzaklıkları ve uç noktalarının harici olarak planlanan referans yörüngeye olan yakınlıkları skorlanarak en uygun alt yörünge belirlenir [13]. Bu aşamaları kapsayan maliyet fonksiyonu Denklem 1’de verilmiştir.

1. Robot kontrol uzayını ayırık zamanda örnekle (d_x, d_y, d_θ).
2. Örneklenen her hız için, ilgili hız belli kısa bir süre uygulanırsa oluşacak yörüngeyi elde etmek için robotun mevcut durumundan ileriye doğru simülasyon gerçekleştirir.
3. Engel yakınlık, hedefe yakınlık, global yörüngeye yakınlık ve hız gibi özellikleri içeren bir metrik kullanarak ileri simülasyondan kaynaklanan her bir yörüngeyi değerlendir (skor tayini). Engellerle çarpışmaya neden olan yörüngeleri filtrele.
4. En yüksek skor alan yörüngeyi seç ve ilgili açısal ve doğrusal hız bileşenlerini mobil robot kontrol birimine gönder.
5. Global hedefe ulaşana kadar işlemleri tekrarla.

Şekil 1. DWA işlem adımları

$$f_c = k_g \times g + k_t \times t + k_b \times b \quad (1)$$



Şekil 2. DWA yol planlayıcı şeması

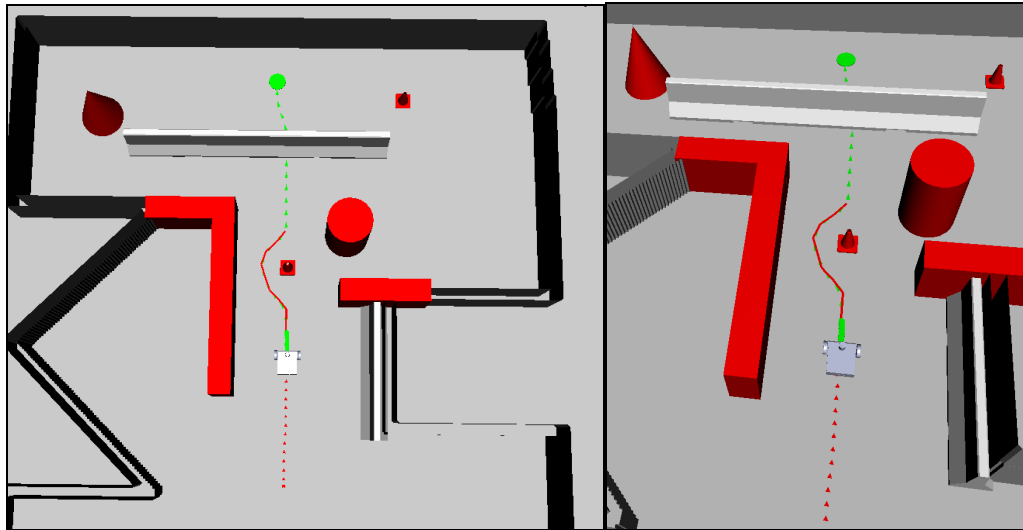
Verilen maliyet fonksiyonunda g lokal hedef ile kısmi alt yörüngelerin uç noktaları arası uzaklık, t alternatif yörüngelerin bitiş noktalarının global yörüngeye olan minimum uzaklığı, b alternatif yörüngelere en yakın engelin uzaklığını gösteren parametrelerdir. Bu parametrelere ağırlık veren katsayılar ise sırasıyla k_g , k_t , k_b ile verilmiştir.

Bu fonksiyonu maksimum yapan açısal ve doğrusal hız büyüklükleri optimal olarak kabul edilmektedir. Lokal bölgedeki engelleri tarayabilen sensörler ile donatılan robot, yerel pencere içerisinde hesaplanan optimal hız kontrol çifti uygulanarak hareket ettirilir. Bu varsayımlar altında tasarlanan DWA yol planlayıcısına ait şematik bir tanım Şekil 2’de gösterilmektedir.

III. AÇISAL DURUŞ KONTROLÜ VE REFERANS YOL PLANLAMA

Dinamik pencere içerisinde referans yol planlama aşamasında işlem süreleri gözetildiğinde hücre ayıklama tabanlı yaklaşımlar ve bu dönüşümlere uygulanan lokal tarama çözümleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Önerilen yöntemde, hücre mesafe dönüşüm matrisi Dijkstra [14] yöntemi ile elde edilmiş, optimal yörünge oluşturmak için ise lokal pencere haritasında, gradient-descent [15] algoritması uygulanmıştır. Bu işlemler tüm harita üzerinde gerçekleştirilmediği için işlem maliyeti gerçek zamanlı uygulamalar için oldukça kabul edilebilir seviyelerdedir. Pencere boyutu robot için tanımlanan dinamik özelliklerle kısıtlıdır ve bir alan tarayıcı donanımı ya da engel profili ile ilgili görsel bir geri besleme zorunluluğu vardır. Pencere boyutu ve lokal penceredeki engel profili işlem yükü ile doğrudan ilgilidir.

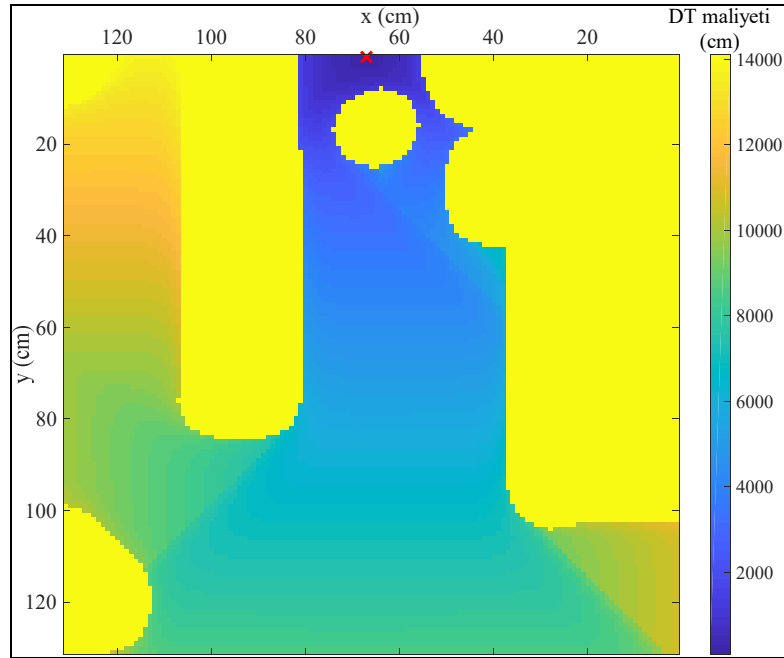
Standart uygulamaya ek olarak, DWA metodu için hedef konumunda açısal kontrol yapılmasına olanak tanıyan bir yaklaşım önerilmiştir. Hedef konumunda istenilen açığa ve robot parametrelerine bağlı olarak sanal bir garaj tanımlanarak robotun düşük işlem maliyeti ile hedef konumuna istenilen açısal pozisyonda konumlanması sağlanmıştır. Açısal duruş kontrolü için global hedefe belli bir Öklid uzaklığı kadar yaklaşılması durumunda, harita üzerinde sanal bir garaj tanımlanarak, robotun bu sanal garaja istenen açıda yerleşmesini sağlayan statik yörünge planlanır ve yörünge takibi prosedürü uygulanır. Lokal yol üzerinde hareket eden mobil robot, dinamik bir engelle karşılaşması veya mevcut engelin ortadan kalkması durumunda güncellenen lokal yolu izlemeye devam etmektedir.



Şekil 3. Örnek bir lokal yörünge ve anlık 3D simülasyon görüntüleri

Önerilen yöntemin planlama çıktıları, diferansiyel sürüş modeline sahip gerçek bir mobil robotun 3D MATLAB mobil robot simülasyonu aracılığı ile modellenmesi ve gerçek sistemden alınan verilerin uzak bir iş istasyonu üzerinden okunması ile elde edilmiştir. Çalışılan koridor ve laboratuvar krokileri aynı simülörde 3

boyutlu olarak modellenebilmektedir. Fiziksel robot ve uzak istasyondaki iş akışı eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir. Uzak masaüstünde takip edilen sanal robota ve iç mekân haritasına ait bulgular sunulmaktadır. Söz konusu modelleme ortamının geçerlilik ve güvenilirlik testleri ilgili referansta sunulmaktadır [16]. Fiziksel robot, çalışma haritaları ve modelleme ortamı ile ilgili detaylı bilgiler deneysel sonuçlar bölümünde verilmektedir. 2D lazer tarayıcı, 3D engel tanımlama ve sık kullanılan kinematik modelleri sunan yazılımın gerçek zamanlı eşdeğeri olan sistemlerle yüksek seviyede uyumlu olduğu ispatlandığı için bu ortam tercih edilmiştir. Şekil 3'te verilen örnek senaryo için, Dijkstra algoritması ile elde edilen maliyet matrisi (DT - distance transform maliyeti), ısı haritası olarak Şekil 4'te verilmiştir. Tarama açısı 270° alan olan tarayıcı sensörün anlık verisi kullanılarak çıkarılan lokal engel haritası Şekil 5'te verilmiştir. Bu grafik üzerinde engel ölçümleri mavi noktalarla gösterilirken, planlanan lokal yol yeşil renkli yörünge biçiminde görselleştirilmiştir. Şekil 6'da alan tarayıcı (LIDAR) datusını gösteren figürün merkezinde mobil robot (kırmızı dikdörtgen) gösterilmektedir. Bu engel konfigürasyonu ve maliyet haritası neticesinde gradient descent algoritması uygulanarak planlanan yörünge ise yeşil renkle kodlanmıştır.



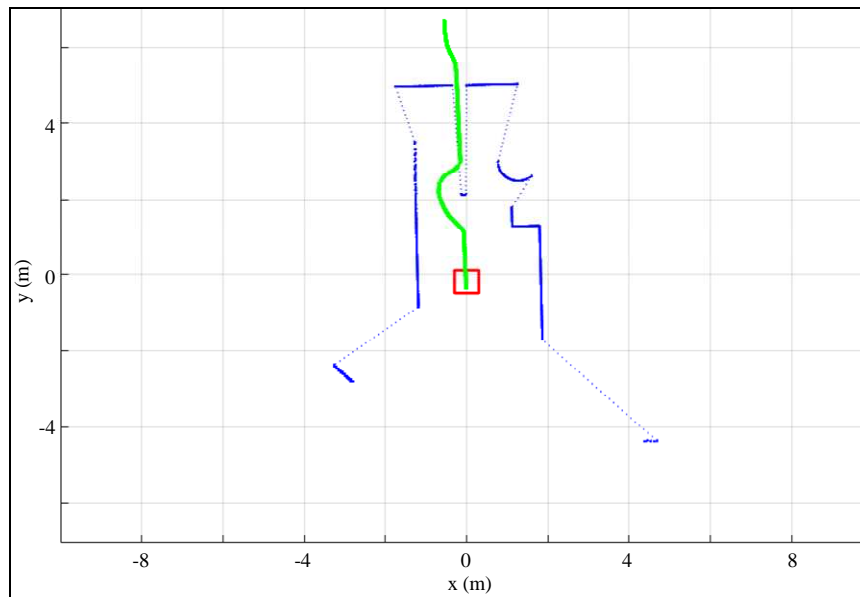
Şekil 4. Lokal bölgedeki maliyet haritası

Robot, benzetim arayüzünde yeşil daire ile gösterilen hedefe ilerlerken anlık olarak lokal pencerede oluşan maliyet haritası Şekil 4'te verilmiştir. Optimal lokal hedef noktası da bu durumda en düşük maliyete sahip nokta olarak belirlenmiştir. Harita üzerinde bu nokta "x" sembolü ile gösterilmiştir. Şekil 3'te verilen anlık durum için engeller, belli bir güvenlik katsayısı ölçüsünde genişletilerek lokal maliyet haritasına dahil edilmiştir. Lokal bölgedeki engel haritası ise ikili sistemde (binary) tanımlanmıştır. Engellerin LIDAR koordinatlarındaki konumları baz alınarak engellenen bölgeler lojik 1, serbest bölgeler lojik 0 olarak tanımlanmıştır. Verilen anlık durum için lokal engel haritası Şekil 5'te verilmiştir. Koyu pikseller serbest, beyaz pikseller engellenmiş bölgeleri göstermektedir.



Şekil 5. Lokal bölgedeki engel haritası

Standart DWA yöntemi mobil robotun hedef konumu için tam olarak açılabilir bir kontrol uygulamamaktadır. Lokal pencere içerisinde global hedef tespit edilip bu noktaya belli bir tolerans bandında yaklaşılması durumunda hedefe ulaşıldığı kabul edilmektedir. Önerilen metod kapsamında sanal garaj (virtual garage) isimli bir yaklaşım ortaya koyularak DWA metodunda bir iyileştirme önerilmiştir. Önerilen yöntemin çalışma prensibi hedef konumunun çevresine robotun boyutlarına bağlı olarak boyutlandırılmış dikdörtgen geometrilili, üç kenarı kapalı bir engel yerleştirilmesi temeline dayanır. Bu engel gerçekte olmayan sanal bir engeldir ve duruş açısı, hedef konumunda robotun sahip olması istenilen açıya bağlı olarak belirlenmektedir. Navigasyon sırasında lokal hedef, global hedefe belli bir eşik değerinden daha yakın bir duruma geldiğinde sanal garaj imgesi haritaya eklenerek statik bir yol planlanır. Algoritma yörünge takip moduna alınır ve takip edilen yol engellense dahi alternatif yol planlama işlemi yapılmayarak engelin yoldan çekilmesi beklenir.



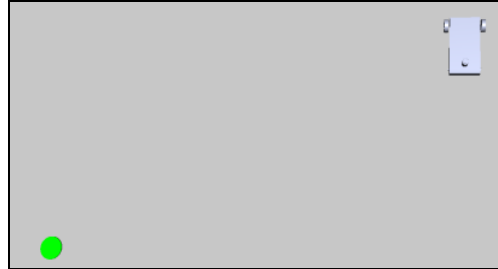
Şekil 6. Lokal bölgedeki LIDAR görüntüsü ve lokal yörünge

Bu aşamada lokal hedef (h_l) ile global hedef (h_g) arasındaki Öklid uzaklığı ile orantılı olarak değişen adaptif bir yörünge takip katsayısı (path distance bias : k_t) belirlenir. Bu değer robotun planlanan yol üzerinde hangi uzaklıktaki noktayı lokal hedef olarak belirleyeceğine etki eder. $|g_h/h_l|$ uzaklık değeri sıfıra yakınsadıkça robot planlanan yolu daha agresif bir şekilde takip etme eğilimi göstermektedir. Bu değer arttıkça Denklem 1’de verilen maliyet fonksiyonunda bulunan k_g parametresi (goal distance bias) de kademeli olarak azaltılır. Burada amaç robotun hedefe ulaşmasını değil, daha ağırlıklı olarak, izlediği yörüngeye sadık kalmasını sağlamaktır. Artırılan ve azaltılan katsayılar referans yörünge takibini pozitif skorlarken, hedefe en kısa yoldan ulaşmayı nötr skorlamaktadır. Garaj imgesi takip aşamasında haritadan kaldırılarak maliyet fonksiyonundaki $k_b \times b$ etkisi ortadan kaldırılır. Uygulamaların yapıldığı mobil robot platformu için tanımlı mesafeler ve tanımlı katsayılar Tablo 1’de verilmiştir.

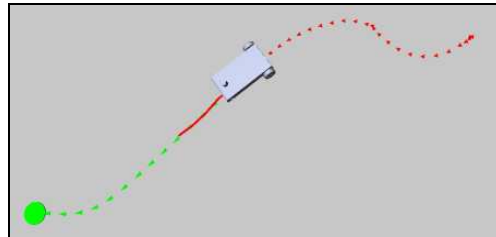
Tablo 1. DWA açısız kontrol yol takip parametresi

$ g_h/h_l $ (m)	k_t (m)
$ g_h/h_l > 4$	2
$2 < g_h/h_l \leq 4$	1
$1 < g_h/h_l \leq 2$	0,75
$ g_h/h_l \leq 1$	0,3

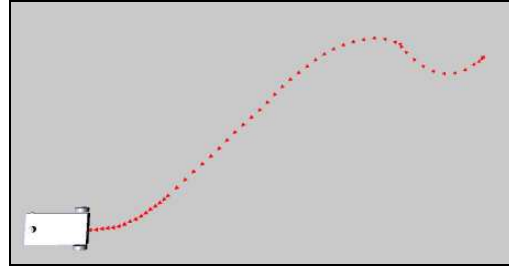
Benzetim arayüzü üzerinde uygulamanın görsel bir örneği Şekil 7-9 arasında verilmiştir. Global hedef ile lokal hedef arasındaki uzaklığa bağlı olarak robotun yol takip modunda izlediği adımları gösteren benzetim uygulamasının başlangıç durumu Şekil 7’de verilmiştir



Şekil 7. DWA açısız kontrol: başlangıç konumu

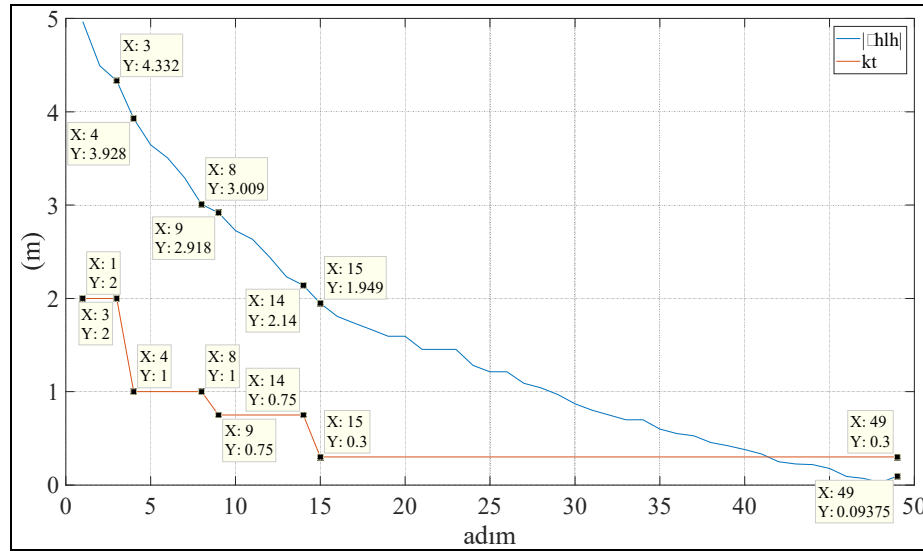


Şekil 8. DWA açısız kontrol: anlık konum



Şekil 9. DWA açısal kontrol: hedef konumu

Robotun başlangıç oryantasyonu 270° , hedef oryantasyonu ise 180° olarak belirlenmiştir. Hareket başladıktan sonra rasgele bir anlık durum için robotun konumu, planlanan ve izlenen yol durumları Şekil 8'de gösterilmiştir. Yörüngeyi tamamlayan robotun duruş oryantasyonu Şekil 9'da verilmiştir. Robot takip moduna girdikten sonra $|g_{hl}|$ uzaklığının değişimine bağlı olarak oluşturulan k_t parametrelerinin değerleri Şekil 10'da görülmektedir. Bu değerler Tablo 1'de verilen kriterleri sağlamaktadır. Açısal duruş hatası 1.32° seviyesinde elde edilmektedir.



Şekil 10. DWA açısal kontrol: $|g_{hl}|$ - k_t grafiği

Her işlem adımında lokal hedefin global hedefe yakınsadığı ve buna bağlı olarak robotun takip ettiği yol üzerinde, robot konum merkezine daha yakın bir noktayı lokal hedef olarak belirlediği görülmektedir. Robot global hedefe belli bir eşik değerinden daha yakın olduğu anda ise hedefe ulaşıldığı kabul edilmektedir. Robot boyutlarına bağlı olan bu değer, benzetim modellemesi yapılan robotlar için 5 cm ve 10 cm arasında değişmektedir.

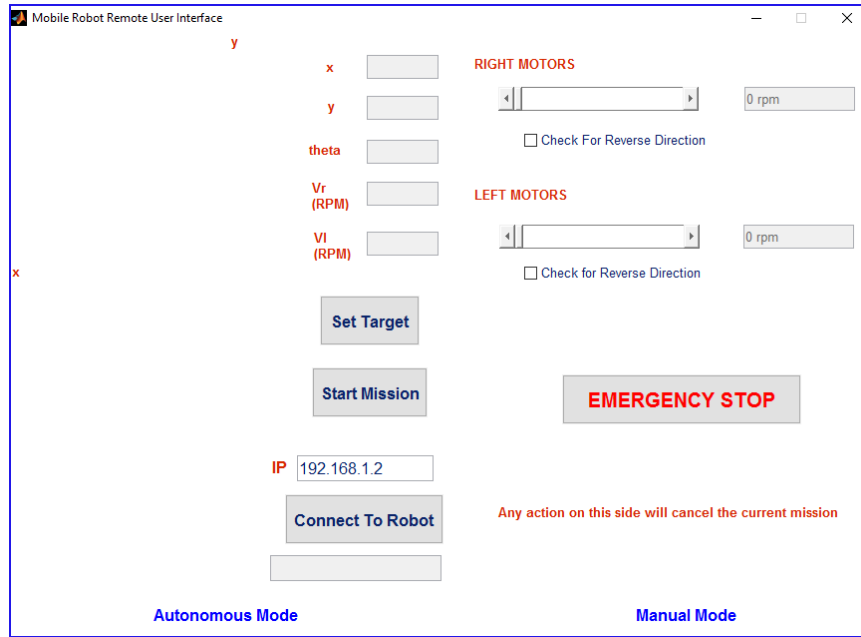
IV. DENEYSEL SONUÇLAR

DeneySEL çalışmalar, diferansiyel sürüş kinematik modelinde tasarlanan bir mobil robot üzerinde gerçekleştirilmiştir. Robotun tasarım ve imalat süreci ile ilgili teknik detaylar [17] numaralı kaynakta verilmiştir. Mobil robot bir endüstriyel PC ile desteklenmiş, gerçek zamanlı uygulamaların uzaktan takip edilmesi, görev tanımlanması ve acil müdahale gibi uygulamalar bu PC'ye uzaktan UDP protokolü ile bağlanarak gerçekleştirilmiştir. Dâhili PC ve uzak masaüstü ortak bir kablosuz ağa bağlanarak, geliştirilen uzak bağlantı arayüzü üzerinden tüm kontroller robottan uzak bir istasyon üzerinden gerçekleştirilebilmektedir. Çalışmalar,

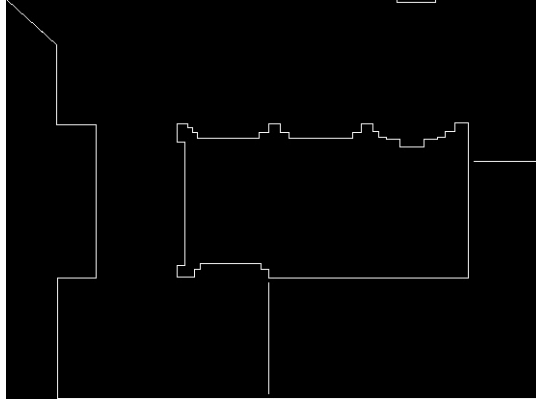
fakültemizin kat koridoru ve laboratuvarlarımızda gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 30x30 m² alana sahip olan harita üzerinde keyfi başlangıç ve hedef koordinatları belirlenerek robotun final pozisyonunda sahip olduğu duruş açıları kaydedilmiştir. Bu değerler ile referans duruş açıları arasındaki mutlak hata değerleri tablo halinde sunulmuştur.

Uzak istasyon üzerinde 2 boyutlu kat krokisinin 3 boyutlu modeli kullanılarak uzaktan takip sırasında daha gerçekçi bir gözlem yapılması mümkün olmuştur. Elde edilen sanal robot görüntüleri esasen fiziksel robotun koridor ve ofis ortamlarında izlediği yörüngelerin eş zamanlı olarak uzak istasyona aktarılmış görselleridir. Yapılan modellemelerin gerçek dünya koşulları ile benzerliği, modelleme için kullanılan Matlab toolbox yazılımını açıklayan referansta verilmektedir [16]. İlgili referans incelendiğinde gerçek dünya koşulları ile 3 boyutlu modelleme sonucu elde edilen şemaların oldukça tatmin edici seviyelerde benzerlik gösterdiği gözlemlenebilir.

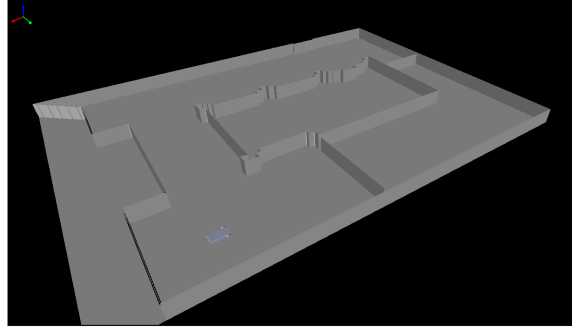
Şekil 11’de uzak masaüstü bağlantısı için geliştirilen arayüz, Şekil 12’de 2 boyutlu kat krokisi, Şekil 13’te 3 boyutlu olarak modellenen kat haritası sunulmuştur. Mobil robot gerçek ölçüleri ile 3 boyutlu olarak modellenerek uzak istasyonda gerçek zamanlı olarak takip edilmiştir. Şekil 14’te fiziksel robot, Şekil 15’te ise 3 boyutlu modeli verilmiştir. Tüm modellemeler MATLAB robotic-reality toolbox [16] kullanarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 11. Fiziksel robot ile bağlantı için tasarlanan uzak masaüstü arayüzü



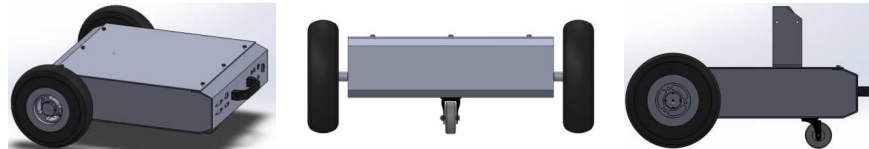
Şekil 12. 2 boyutlu kat krokisi



Şekil 13. 3 boyutlu modellenen kat haritası



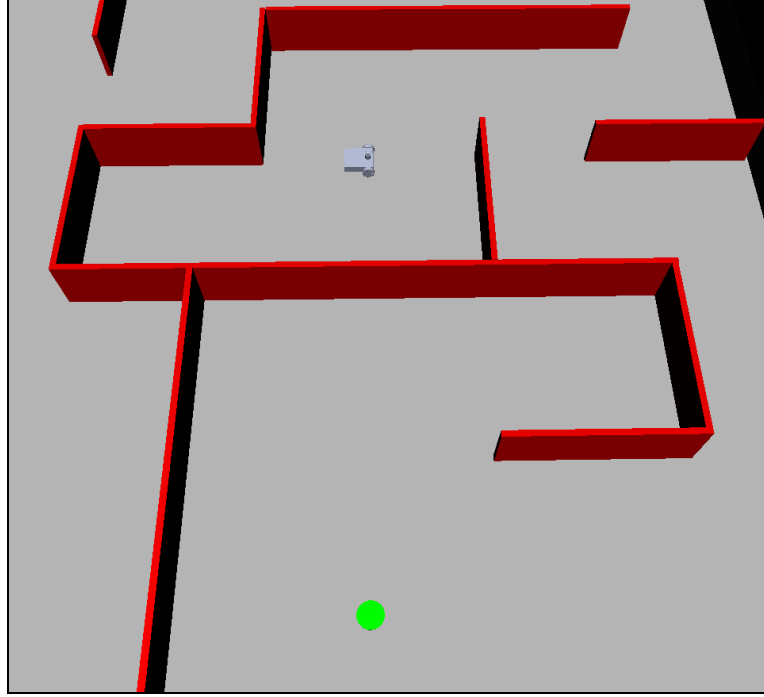
Şekil 14. Fiziksel mobil robot [17]



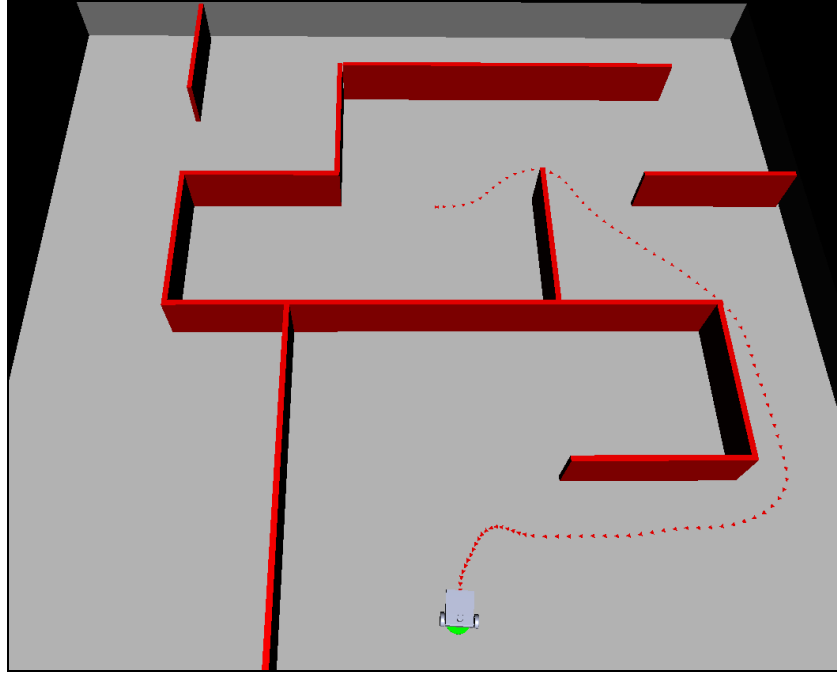
Şekil 15. Uzak istasyonda robotu izlemek için gerçekleştirilen 3 boyutlu tasarım [17]

Açısal kontrol işleminin temel bileşeni olan sanal garaj eklentisi mobil robotun hedef oryantasyonuna istenilen açıda konumlandırılabilmesi için global haritaya statik bir engel olarak eklenmiştir. Sanal garaj kafes biçiminde ve robotun belli bir toleransta sığabileceği boyutlarda tanımlanmıştır. Bu aşamada robotun alternatif yol planlama opsiyonları engellenerek kontrollü bir yörünge üzerinde hedef konumuna istenilen açıda yerleşmesi

sağlanmaktadır. Örnek bir benzetim uygulamasının başlangıç ve hedef konumlarındaki açıl duruş çıktıları sırasıyla Şekil 16 ve Şekil 17’ de verilmiştir.

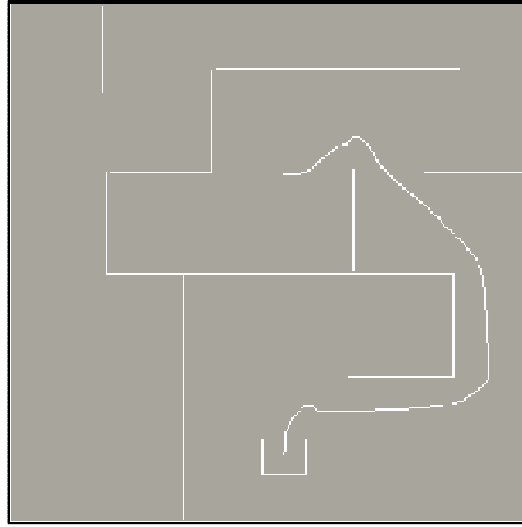


Şekil 16. DWA açıl kontrol benzetim uygulaması: başlangıç

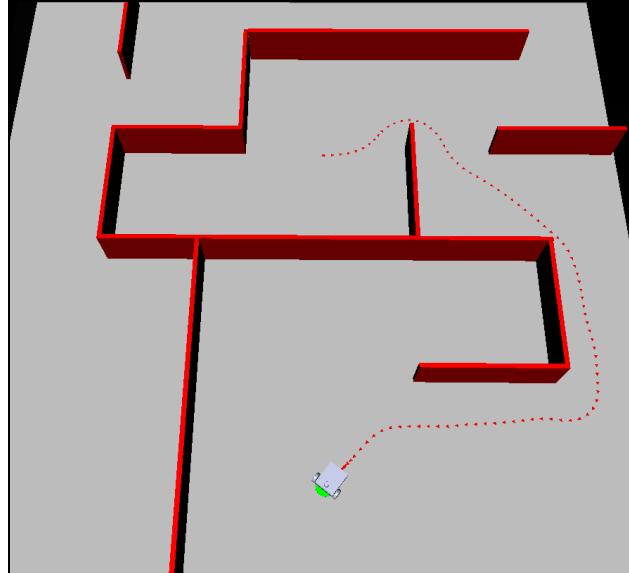


Şekil 17. DWA açıl kontrol benzetim uygulaması: hedef konumu

Başlangıç konumunda gösterilen robot için verilen hedefin konumu daire olarak gösterilmiştir. Duvar biçimindeki engeller 3 boyutlu olarak gösterilmiştir. Robotun başlangıç oryantasyon açısı 0° , hedef konumundaki istenilen açısı ise 270° olarak tanımlanmıştır. Hedef konumundaki açısal sapma 2.4° olarak belirlenmiştir. Sanal garajın global engel haritasında görüntüsü Şekil 18’te verilmiştir. Gri tonlu pikseller serbest alanları, beyaz pikseller engellenmiş bölgeleri göstermektedir. Açısal kontrol uygulamasında sanal garaj eklentisinin etkisi 2 boyutlu statik harita üzerinde görülebilmektedir. Benzetim ortamında yapılan uygulamada açısal kontrol uygulanmaması durumunda robot verilen hedefe belli bir tolerans ölçüsünde yaklaştığı durumda hedefe ulaşıldığı kabul edilmiştir.



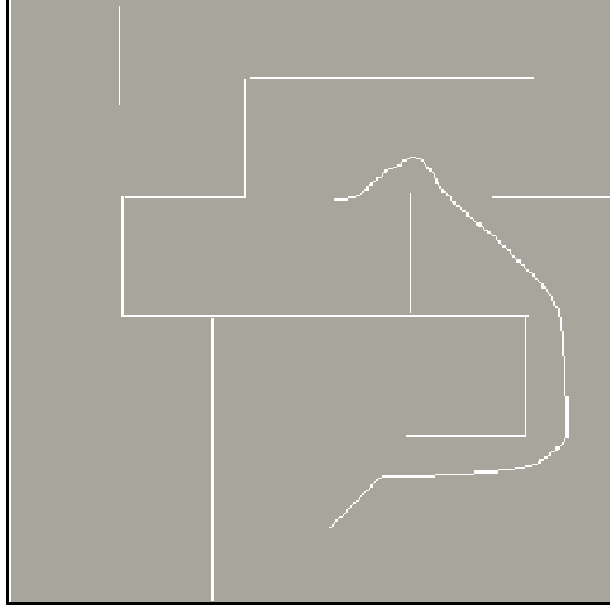
Şekil 18. Açısal kontrol uygulaması: statik harita



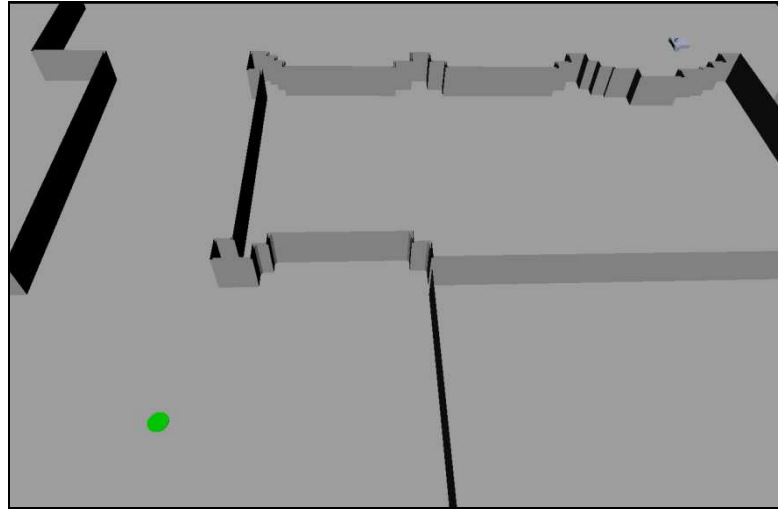
Şekil 19. Standart DWA uygulaması

Açısal duruş kontrolünün uygulanmadığı durumda ise nihai konuma yaklaşım ve hedef pozisyonundaki duruş açıları planlanamamaktadır. Hedefe yaklaşım açısı robotun anlık duruş açısına bağlı olarak rasgele bir değer olmaktadır. Bu durumun 3 boyutlu arayüz üzerinde gösterimi Şekil 19’te verilmiştir. Statik planlayıcı

tarafından planlanan yol Şekil 20’de verilmiştir. Sanal garaj uygulanmayan bu durum sadece global hedefe olan Öklid uzaklığını baz alan standart DWA yönteminin yol planlama çıktısını göstermektedir.

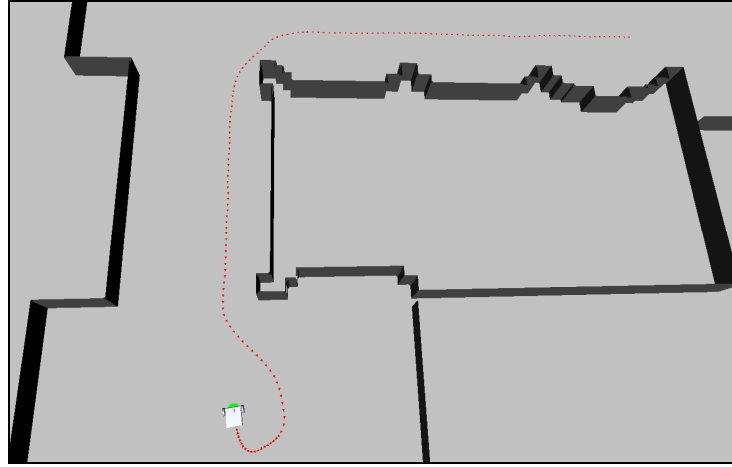


Şekil 20. Standart DWA uygulaması: statik harita

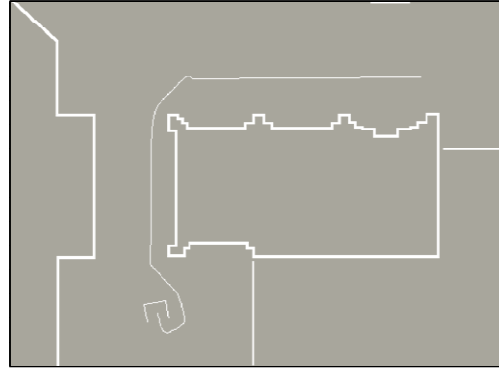


Şekil 21. Açısal kontrol senaryosu: başlangıç konumu

Açısal kontrol yöntemi ile ilgili bir başka senaryo Şekil 21’de verilen benzetim arayüzünde gösterilmiştir. Başlangıç duruş açısı 180° olan robot için hedef konumunda sahip olması istenen açı 100° olarak belirlenmiştir. Sanal garaj yapısındaki engel hedef koordinatlarına verilen açıda yerleştirilerek, statik yol planlayıcının hedeflenen açıda sonlanan bir referans yörünge planlaması sağlanmıştır. Navigasyon işleminin bitişi ile elde edilen 3 boyutlu görünüm ve 2 boyutlu global engel haritası sırasıyla Şekil 22 ve Şekil 23’te verilmiştir. Hedef konumundaki açısal hata 1.53° olarak belirlenmiştir. Benzetim arayüzünde 3 boyutlu olarak gösterilen haritada hedefe yaklaşan mobil robotun sanal garaja girerek istenilen açıda belli bir hata ölçüsü ile hedefe konumlandığı görülmektedir.



Şekil 22. Açısal kontrol senaryosu: hedef konumu ve oryantasyonu



Şekil 23. Açısal kontrol uygulaması: statik harita

Verilen uygulamalarda meydana gelen açısal hatalar sırasıyla 2.40° ve 1.53° olarak gözlemlenmiştir. Benzer senaryolar çeşitli başlangıç-hedef konfigürasyonları için uygulanmış, ancak makalenin ilgili görsellerle aşırı uzun tutulmaması adına açısal duruş hataları Tablo 2’de paylaşılmıştır.

Tablo 2. Açısal duruş hataları

# Uygulama	Açısal Hata (derece)
1	2.40
2	1.53
3	2.03
4	1.66
5	1.51
6	1.92
7	2.54
8	2.06
9	2.15
10	2.21

V. SONUÇ VE ÖNERİLER

Açısal kontrol işleminin temel bileşeni olan sanal garaj eklentisi mobil robotun hedef oryantasyonuna istenilen açıda konumlandırılabilmesi için global haritaya statik bir engel olarak eklenmiştir. Sanal garaj kafes biçiminde ve robotun belli bir toleransta sığabileceği boyutlarda tanımlanmıştır. Bu aşamada robotun alternatif yol planlama opsiyonları engellenerek kontrollü bir yörünge üzerinde hedef konumuna istenilen açıda yerleşmesi sağlanmaktadır. Verilen uygulamalarda oluşan statik haritalar incelendiğinde, yörünge üzerinde süreksizlik arz eden geçişler gözlemlenebilmektedir. Bu durum imge olarak gösterilen haritada cm/piksel çözünürlüğünün düşük tutulmasından kaynaklanmaktadır. Daha geniş fiziksel alanları görselleştirmek için ideal bir ölçeklendirme olarak $5 \text{ cm} \equiv 1 \text{ piksel}$ kabulü yapılmıştır. Bu çözünürlük, yaklaşık $30\text{m} \times 30\text{m}$ fiziksel genişliğe karşılık gelen haritaları görselleştirmek için kabul edilen dönüşümdür.

Yapılan çalışma DWA metodu ile ilgili literatürde açık olan açısız duruş kontrolüne bir çözüm olarak verilmiştir. Konumlama hassasiyeti ile doğrudan ilgili olan yöntem, gerçek zamanlı ek güvenlik sensör donanımları veya benzetim modelleri uygulanarak güvenlik seviyesi ileri aşamalara taşınabilir. Arama uzayını daraltmak için global planlayıcı olarak A* planlama şeması uygulanabilir [18].

KAYNAKLAR

- [1] Dugarjav, B., Kim, H. & Lee, H. (2015). Online Cell Decomposition with a Laser Range Finder for Coverage Path in an Unknown Workspace. *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, 3, 18-24.
- [2] Fahad, I., Jauwairia, N., Usman, M., Yasar, A. & Osman, H. (2012). RRT-Smart: Rapid Convergence Implementation of RRT* Towards Optimal Solution. 2. *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*. Ağustos, Çin, 1651-1656.
- [3] Wang, J., Wu, S., Li, H. & Zou, J. (2018). Path Planning Combining Improved Rapidly-Exploring Random Trees with Dynamic Window Approach in ROS. *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*. Temmuz, Çin, 1296-1301.
- [4] Firas, R. & Mustafa, M. (2017). Development of Modified Path Planning Algorithm Using Artificial Potential Field (APF) Based on PSO for Factors Optimization. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 37, 316-328.
- [5] Siméon, T., Laumond, J. & Nissoux, C. (2000). Visibility-Based Probabilistic Roadmaps for Motion Planning. *Journal of Advanced Robotics, Technology*, 14, 477-493.
- [6] Özdemir, A. & Sezer, V. (2018). Follow the Gap with Dynamic Window Approach. *International Journal of Semantic Computing*, 12, 43-57.
- [7] Borenstein, J., Koren, Y. (1991). The Vector Field Histogram-Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots. *IEEE Trans. Robot. Autom*, 7, 278-288.
- [8] Sezer, V. & Gokasan, M. (2012). A Novel Obstacle Avoidance Algorithm: Follow the Gap Method. *Robot. Auton. Syst*, 60, 1123-1134.
- [9] Marin, P., Hussein, A., Martin, D. & Escalera, A. (2018). Global and Local Path Planning Study in a ROS-Based Research Platform for Autonomous Vehicles. *Journal of Advanced Transportation*, 60, 1-10.
- [10] McNaughton, M., Urmson, C., Dolan, M. & Lee, J. (2018). Motion Planning for Autonomous Driving with a Conformal Spatiotemporal Lattice. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Mayıs, Çin, 4889-8995.
- [11] Guoyang, L., Genxia, W. & Wei, W. (2006). ND-DWA: A Reactive Method for Collision Avoidance in Troublesome Scenarios. *World Congress on Intelligent Control and Automation*. Haziran, Çin, 9307-9311.

- [12] Fox, D., Burgard, W. & Thrun, S. (1997). The Dynamic Window Approach to Collision Avoidance. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 4, 23-33.
- [13] Furrer, F., Burri, M., Achtelik, M. & Siegwart, R. (2016). *Robot Operating System (ROS)*. Springer International Publishing, İsviçre, 74-78.
- [14] Dongkai, F. & Shi, P. (2010). Improvement of Dijkstra's algorithm and Its Application in Route Planning. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 13, 1901-1904.
- [15] Stephen, B. & Lieven, V (2004). *Unconstrained Minimization Convex Optimization*. Cambridge University Press, New York, 457-458.
- [16] Karakaya, S., Küçükyıldız, G. & Ocak, H (2017). A New Mobile Robot Toolbox for MATLAB. *J Intell Robot Syst*, 87, 125-140.
- [17] Karakaya S. & Ocak, H. (2019). Design and Implementation of a Wheeled Mobile Robot Platform. *International Conference on Image Processing, Wavelet and Applications*. Ekim, Türkiye, 1-9.
- [18] Gopikrishnan, S., Shravana, S., Harshit G., Barve, P. & Ravikumar L (2011). Path Planning Algorithms: A Comparative Study. *National Conference on Space Transportation Systems*. Aralık, Hindistan, 1-8.

Araştırma Makalesi - Research Article

İndirgenmiş Grafen Oksit/Çinko Oksit Kompozitlerin Üretimi ve Süper Kapasitör Uygulamaları

Ayça TANRIVERDİ^{1*}

Geliş / Received: 30/01/2020

Revize / Revised: 18/05/2020

Kabul / Accepted: 19/05/2020

ÖZ

Bu çalışmada, indirgenmiş grafen oksit/çinko oksit (RGO/ZnO) kompozit malzemeleri hidrotermal yöntem kullanılarak sentezlenmiştir. Sentezlenen RGO/ZnO kompozitleri, süper kapasitör uygulamaları için elektrot yapımında kullanılmıştır. RGO/ZnO kompozit malzemeler farklı çinko kaynakları (çinko nitrat, çinko klorür ve çinko asetat) kullanılarak üretilip, farklı çinko tuzların RGO/ZnO elektrotların kapasitans değerleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. RGO/ZnO kompozitlerin karakterizasyonu XRD (X-ışını kırınımı) ve SEM (taramalı elektron mikroskopisi) ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen RGO/ZnO elektrotların elektrokimyasal özellikleri döngüsel voltametri, elektrokimyasal empedans ve galvanostatik şarj-deşarj testleriyle 6M KOH çözeltisi içinde analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda; çinko nitrat tuzu kullanılarak elde edilen RGO/ZnO kompozit malzemesi ile oluşturulan elektrodun maksimum spesifik kapasitans değerine (52,71 F/g) ulaştığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- RGO/ZnO, Kompozit Malzeme, Hidrotermal Metod, Süper Kapasitör

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: aa.kudret@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-0658-8576>)

Fizik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, 46100 Kahramanmaraş

Production of Reduced Graphene Oxide/Zinc Oxide Composites and Super Capacitor Applications

ABSTRACT

In this work, reduced graphene oxide/zinc oxide (RGO/ZnO) composite materials were synthesized by hydrothermal method. Synthesized RGO/ZnO composites were used in electrode for super capacitor applications. RGO/ZnO composite materials are produced using different zinc sources (zinc nitrate, zinc chloride and zinc acetate) and effect of different zinc salts on capacitans value of RGO/ZnO electrodes was investigated. Characterization of RGO/ZnO composites was performed with XRD (X-ray diffraction) and SEM (scanning electron microscopy). Electrochemical properties of produced RGO/ZnO electrodes were analyzed in 6M KOH solution by cyclic voltammetry, electrochemical impedance and galvanostatic charge-discharge. Experimental results showed that RGO/ZnO composite electrode obtained by zinc nitrate salt reached maximum specific capacitance (52,71 F/g).

Keywords- *RGO/ZnO, Composite, Hydrothermal method, Super Capacitor*

I. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerde artan nüfus, sanayileşme ve teknolojinin yaygınlaşması enerjiye olan talebin hızla artmasına sebep olmuştur. Dünyada artan bu enerji ihtiyacı, yeni enerji kaynaklarının gelişmesini ve var olan enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması için depolanmasını zorunlu kılmaktadır [1]. Yenilenebilir enerjinin elde edilmesi kadar üretilen enerjinin depolanması da çok büyük önem arz etmektedir. Enerji genel olarak mekaniksel (volan, sıkıştırılmış hava), kimyasal (batarya, hidrojen, yakıt hücreleri) ve elektriksel (süperiletken-manyetik enerji depolama, süper kapasitör) sistemler şeklinde depolanabilir [2].

Son yıllarda bilimsel çalışmalar küçük boyutlarda farklı bataryaların ve yüksek kapasiteli kapasitörlerin oluşturulmasına odaklanmıştır [3]. Lityum-iyon pilleri ve geleneksel kapasitörlerle kıyaslandıklarında, süper kapasitörler binlerce kat daha yüksek güç ve enerji yoğunluğuna, kısa şarj sürelerine ve uzun ömür gibi avantajlara sahip, ideal güç depolayıcı sistemlerdir[4-5].

Süper kapasitörler de yük depolama olayı elektrotlarda gerçekleşmektedir. Süper kapasitörün elektrot malzemesi olarak en çok gözenekli yapılı karbon tabanlı malzemeler (grafen gibi) kullanılmaktadır. Metal oksit ve iletken polimerlerle elde edilen süper kapasitörler karbon tabanlı süper kapasitörlere göre daha yüksek kapasitans değerine sahiptir. Fakat yüksek kapasitans özelliği sergileyen metal oksitlerin RuO_2 (çok pahalı) ve ZnO , NiO , MnO_2 gibi metal oksitlerin iletkenliklerinin düşük olması, iletken polimerlerin düşük döngü ömürlerine sahip olmaları gibi etkenler karbon tabanlı elektrotlar üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Özellikle asidik ve bazik ortamlarda ve geniş bir sıcaklık aralığında mükemmel kimyasal kararlılık göstermeleri ve çevre dostu olmaları nedeniyle karbon tabanlı malzemeler, elektrokimyasal enerji cihazlarında elektrot malzemesi olarak ilgi çekici hale gelmiştir[6]. Fakat grafen elektrot malzemesi için kullanıldığında en büyük sorunlardan biri, üretim tekniğine bağlı olarak grafen tabanlı kümeleşmekte ve bunun sonucu olarak yüzey alanı küçülmektedir [7]. Ayrıca birçok grafen elektrot tek bir tabaka olarak elde edilememekte ve elde edilen grafen tabakalar birçok kimyasal ve topolojik kusurlar içermektedir. Bu kusurları gidermek ve dezavantajların üstesinden gelmek için farklı gruplardaki malzemelerin en iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla bu malzemelerin birleştirilmesiyle kompozit malzemeler elde edilmektedir.

Kompozit malzemeler üretilirken birçok yöntemden faydalanılmaktadır. Nano boyuta sahip metal oksit partiküllerinin sentezi için; sol-gel, anorganik tuzların hidrolizi, ultrasonik teknik, mikroemülsiyon ve hidrotermal yöntem gibi polar ve apolar çözücü sistemlerinin kullanıldığı çok değişik yöntemler literatürde yer almaktadır. Hidrotermal hariç diğer sentez yöntemlerinde, kristal formda nano boyuta sahip metal oksit partiküllerinin sentezi oldukça yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir. Diğer yöntemlerle kıyaslandığında, tamamen saf ve kristal yapıda, homojen ve etkin fotokatalitik aktiviteye sahip nano metal oksit partiküllerinin düşük sıcaklıkta ve kısa sürede sentezlenmesine olanak sağladığından dolayı bu çalışmada nano boyuta sahip metal oksit partiküllerinin sentezi ve grafinin indirgenmesi için hidrotermal yöntem seçilmiştir.

Grafen ve metal oksitlerin tek başına sahip oldukları özellikleri arttırmak için grafen metal oksit malzemeleri oluşturulmaktadır. Çeşitli metal oksitler arasında çinko oksit (ZnO) düşük maliyetli ve çevre dostu olması, 650 Ah/g yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasından dolayı bu çalışmada süper kapasitörler için elektrot malzemesi olarak seçilmiştir. Literatürde bu konu ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Fang ve arkadaşları, süper kapasitörler için elektrot malzemesi olarak sentezledikleri ZnO -grafen nanokompozitlerin 786 F/g spesifik kapasitans değerine ulaştığını tespit etmişlerdir [8]. Benzer şekilde Jayachandiran ve arkadaşları süper kondansatör uygulaması olarak RGO/ ZnO ve saf ZnO elektrodu sentezlemiş ve ürettikleri RGO/ ZnO elektrodun sahip olduğu spesifik kapasitans değerinin (312 F/g) saf ZnO elektroduna kıyasla daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir [9]. Yine Mohan ve arkadaşları sentezledikleri RGO, ZnO ve RGO/ ZnO kompozit elektrotların kapasitans değerlerini incelemiş ve RGO/ ZnO elektrotun (280 F/g), RGO ve saf ZnO elektrotlarına göre daha iyi kapasitans özellik sergilediğini belirlemişlerdir [10]. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak üç farklı çinko kaynağı kullanılarak RGO/ ZnO kompozit malzemeleri üretilmiştir. Sentezlenen RGO/ ZnO kompozitlerin fiziksel özelliklerindeki değişimin, RGO/ ZnO elektrotların kapasitans değerleri üzerindeki etkisi araştırılarak mevcut literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

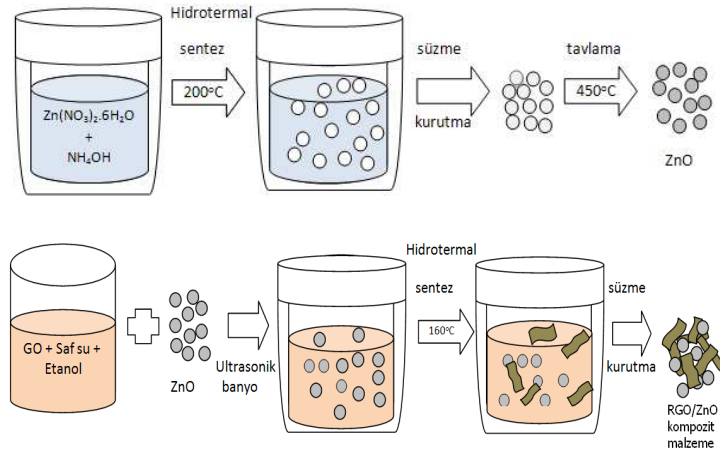
II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, indirgenmiş grafen oksit/çinko oksit (RGO/ZnO) kompozit malzemeler sentezlenerek süper kapasitörler için elektrot yapımı gerçekleştirildi. RGO/ZnO elektrotlar üç aşamada üretildi.

Birinci aşamada; Grafen oksit (GO) grafit tozu kullanılarak Hummers metodu ile sentezlendi [11]. İkinci aşamada; ZnO nanoparçacıkların üretiminde çinko kaynağı olarak çinko nitrat ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$), çinko klorür ($ZnCl_2$) ve çinko asetat ($Zn(CH_3)_2 \cdot 2H_2O$) tuzları kullanıldı. 0,1M çinko nitrat ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) ve 0,1M hekzametilen tetramin ($C_6H_{12}N_4$) 100 ml saf suda çözülüp, çözelti 30 dakika manyetik karıştırıcı da karıştırıldı. Üretilecek parçacıkların boyutunu küçültmek için amonyak (NH_3) damlatılarak çözeltinin pH 10 olacak şekilde ayarlandı. Üretilen ZnO parçacıkların morfolojisini ve boyutlarını etkileyen pH, sıcaklık gibi faktörler ile ilgili literatür de birçok çalışma mevcuttur [12-16]. Daha sonra bu çözelti teflon kaplı otoklavda $200^\circ C$ ' de 3 saat bekletilerek ZnO parçacıklar oluşturuldu. Kendiliğinden oda sıcaklığında soğumaya bırakılan çözelti içinden ZnO parçacıklar süzülerek alındı. ZnO parçacıklar saf su ile yıkanarak içindeki organik bileşenlerden kurtulması sağlandı. Sentezlenen ZnO parçacıklarında bulunan hidroksit fazını ortadan kaldırmak için $450^\circ C$ ' de 1 saat süreyle tavlandı. Aynı uygulamalar çinko klorür ($ZnCl_2$) ve çinko asetat ($Zn(CH_3)_2 \cdot 2H_2O$) tuzları içinde yapıldı. Üçüncü aşamada; RGO/ZnO kompozit malzemeler yine hidrotermal yöntem ile sentezlendi. Öncelikle 0,1g grafen oksit (GO), 20 ml saf su ve 10 ml etanol (C_2H_5OH) çözeltisi içinde ultrasonik banyo yardımıyla 1 saat karıştırıldı. Daha sonra bu çözeltinin içerisine 0,1g ZnO (çinko nitrat tuzu) parçacıkları eklendi ve 2 saat boyunca ultrasonik banyoda karışması için bekletildi. Ardından çözelti teflon kaba konulup otoklav içerisine yerleştirildi. Otoklav küll fırınında $160^\circ C$ ' de 3 saat bekletildi. Böylece hem GO grafene indirgenmiş hemde kimyasal olarak birbirine bağlanmış RGO/ZnO kompozit malzeme elde edildi. Elde edilen kompozit malzeme süzülüp saf su ile yıkandıktan sonra oda sıcaklığında kurutuldu. Aynı uygulamalar çinko klorür ($ZnCl_2$) ve çinko asetat ($Zn(CH_3)_2 \cdot 2H_2O$) tuzlarından elde edilen ZnO parçacıklar içinde yapıldı. RGO/ZnO kompozit malzemelerinin üretim süreçleri ve deneysel mekanizmaların şematik görünümü Şekil 1' de gösterilmiştir.

Elektrot yapımı için elde edilen RGO/ZnO kompozit malzemesinden %70, grafit tozundan %20 ve politetraflorinetilenden (PTFE) %10 oranlarında alınarak üzerine butanol damlatıp karışımın macun kıvamına getirilmesi sağlandı. Macun kıvamındaki RGO/ZnO kompozit malzemesi Ni köpük üzerine $1cm^2$ 'lik alan oluşturacak şekilde sürülüp 24 saat oda sıcaklığında bekletildi.

Üretilen RGO/ZnO kompozit malzemelerin kristal yapısı XRD deseni Philips X'Pert PRO cihazı ve morfolojik yapıları SEM görüntüleri Zeiss EVO 10LS cihazı kullanılarak incelendi. Elde edilen elektrotların kapasitans ölçümleri tipik üç elektrot düzeni kullanılarak Iviumstat potentiostat /galvanostat döngüsel voltmetrisi ile gerçekleştirildi. Ölçüm düzeneğinde; Ni köpük üzerine RGO/ZnO kompozit malzemelerden hazırlanan çalışma elektrodu, standart kalomel elektrottan oluşan referans elektrotu ve platin folyodan oluşan karşıt elektrot kullanıldı. Elektrolit sıvısı olarak 6M KOH (potasyum hidroksit) çözeltisi kullanıldı.

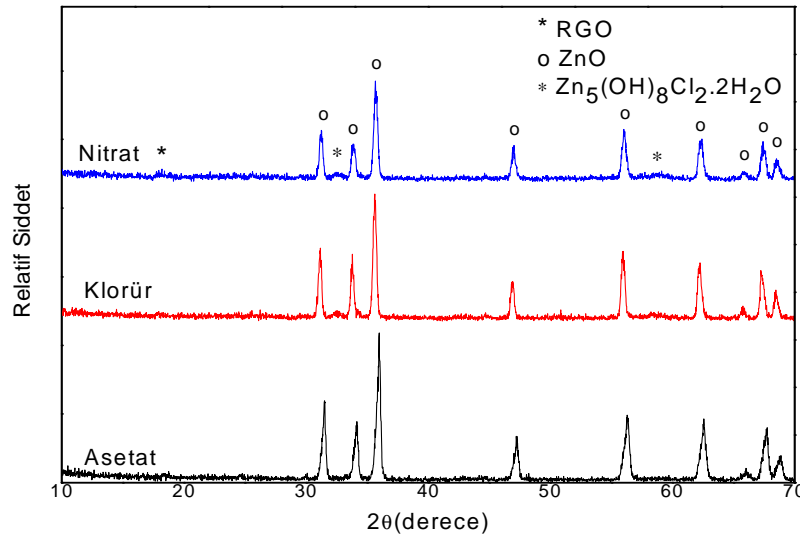


Şekil 1. RGO/ZnO kompozit malzemelerin sentez aşamaları [17]

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. X-Işınımı Kırınımı (XRD) Sonuçları

Kompozit malzemelerin kırınım deseni X-ışını difraksiyon (XRD) kullanılarak ölçülmüştür. Kullanılan Philips X'pert PRO marka XRD cihazında, çalışma aralığı 40kV, 30mA olarak ayarlanmış ve ölçümler monokromatik CuK α radyasyonu ($\lambda= 0,154056\text{nm}$) kullanarak yapılmıştır. Farklı çinko kaynakları (çinko nitrat, çinko klorür ve çinko asetat) kullanılarak üretilen RGO/ZnO kompozit malzemelerin XRD desenleri Şekil 2'de verilmiştir. XRD spektrumundan görüldüğü gibi RGO/ZnO yapısı; wurtzite ZnO fazından (PDF-2, referans no:01-079-2205), simonkollite ($\text{Zn}(\text{OH})_8\text{Cl}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$) olarak adlandırılan çinko hidroksit fazı (PDF-2, referans no:00-076-0922) ve RGO (indirgenmiş grafen oksit) fazının karışımından oluşmaktadır. Elde edilen RGO/ZnO kompozit malzemelerin kırınım desenlerindeki wurtzite ZnO fazına ait pikler $2\theta= 31.70^\circ, 34.13^\circ, 36.15^\circ, 47.53^\circ, 56.47^\circ, 62.82^\circ, 66.35^\circ, 67.76^\circ$ ve 69.03° olduğu gözlenmiştir. Bu açı değerlerine karşılık gelen düzlemler ise sırasıyla (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112) ve (201) olarak belirlenmiştir. $\text{Zn}(\text{OH})_8\text{Cl}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ (çinko hidroksit) fazına ait pikler $2\theta= 32.84^\circ, 58.49^\circ$ ve (021), (220) düzlemlerinde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca Şekil 2'den görüldüğü gibi çinko oksit ve çinko hidroksite ait piklerin oldukça belirgin olarak görülmesine rağmen $2\theta=25,4^\circ$ değerinde RGO'ya ait (002) düzlemi zayıf şekilde görülmektedir. Muhtemelen bu pik ZnO parçacıkların grafen tabakaları arasına girerek kümeleşmeyi önlemesi ile ortaya çıkan piktir[18-19]. Kompozit malzemeleri oluşturan ZnO parçacıkların 450°C 'de 1 saat tavlmasına rağmen yapıda hidroksitli yapı oluşmasının sebebi, hidrotermal metodla kompozit malzeme oluştururken kullanılan GO çözeltisi içine konulan ZnO yapısının tekrar rehidrazyona uğraması ve simonkollite yapıya dönüşmesidir.

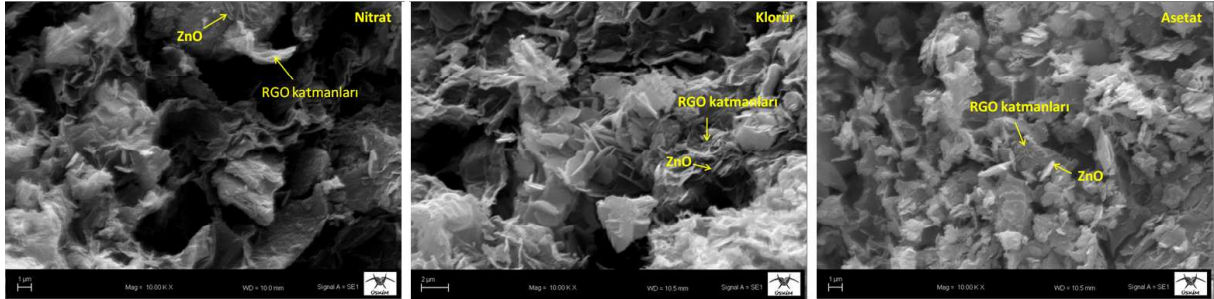


Şekil 2. Üretilen RGO/ZnO kompozit maddelerinin XRD spektrumu

B. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

Şekil 3'de RGO/ZnO kompozit malzemelerin SEM görüntüleri bulunmaktadır. SEM fotoğraflarından görüldüğü gibi farklı çinko kaynaklarından elde edilen RGO/ZnO kompozit malzemelerin morfolojik yapılarının oldukça benzer olduğu görülmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde, altıgen plaka benzeri yapıya sahip ZnO parçacıklar, RGO'nun yüzeyi üzerine rastgele bir şekilde dağılmış ve oksijen içeren gruplar nedeniyle grafen katmanlarının yüzeyine tutunmuşlardır. Grafen tabakalarının tamamen indirgenememesi ve tabakalar arasında arta kalan oksijen atomları ile ZnO parçacıkların bağlantı yaptığı düşünülmektedir. RGO/ZnO kompozit malzemelerin üretim sürecinde Zn^{+2} , öncelikle grafen oksit karboksilat anyonları tarafından tutulmuş ve grafen oksit yaprakları arasına yerleşmiştir[20]. Hezagonal tabaka şeklindeki ZnO parçacıklarının kristal yapısının

tamamen wurtzite yapı olmayıp hidroksitli yapıyı da içerdiği Şekil 2’deki XRD spektrumunda verilmiştir. SEM fotoğrafları XRD spektrumlarını destekleyecek şekildedir.



Şekil 3. Üretilen RGO/ZnO kompozit maddelerin SEM görüntüleri

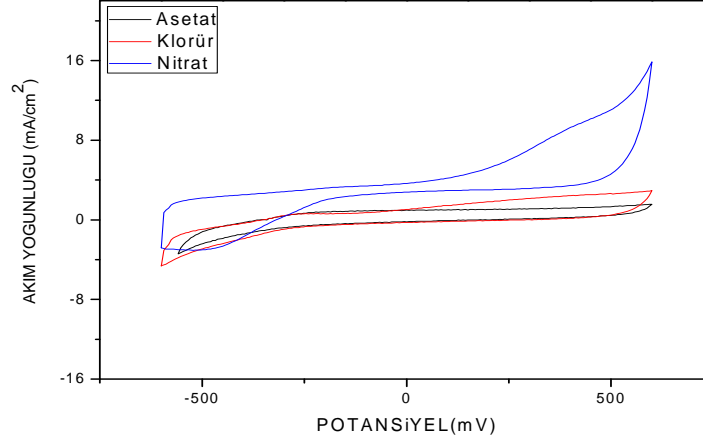
C. Elektrokimyasal Analiz

Çinko nitrat, çinko klorür ve çinko asetat tuzları kullanılarak sentezlenen RGO/ZnO kompozit maddelerinden üretilen elektrotların kapasitans, empedans, yükleme/boşalma eğrileri incelenerek elektrokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Elektrotların kapasitans ölçümleri döngüsel voltametri (CV) yöntemi ile Iviumstat cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler 6M KOH çözeltisinde, Kalomel referans elektrot kullanılarak 5mV/s tarama hızında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Elektrotların kapasitans değerleri döngüsel voltagram eğrisi kullanılarak $C = I_{ort} / (v \cdot m)$ eşitliği ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte I_{ort} ortalama akım, v tarama hızı ve m nikel köpük üzerine kaplanan kompozit malzemenin kütlesini ifade etmektedir.

Farklı çinko kaynakları kullanılarak üretilen RGO/ZnO elektrotların 5 mV/s tarama hızında 6M KOH çözeltisi içinde döngüsel voltamogram sonuçları Şekil 4’de gösterilmektedir. Elde edilen CV eğrilerinin şekli dikdörtgenimsi yapıdadır. Elektrot yapımında altlık olarak kullanılan Ni köpüğün kapasitans değeri son derece düşük olduğundan Ni köpüğe ait CV ölçümleri ve hesaplamaları bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Farklı çinko kaynakları kullanılarak üretilen RGO/ZnO kompozitlerinin Şekil 4’de gösterilen CV eğrilerinden yararlanarak hesaplanan spesifik kapasitans değerleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Nitrat tuzundan elde edilen RGO/ZnO kompozit malzemesinin en yüksek kapasitans değerine sahip olduğu hesaplamalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu durum nitrat tuzundan üretilen RGO/ZnO kompozit malzemesinin yapısında oksijen içeren hidroksil grupların varlığından kaynaklanabilir. Kompozit malzeme de oksijen içeren grupların varlığı küçük boyutlu parçacıkların RGO yüzeyine tutunmasına katkı sağlar[21]. Şekil 2’deki XRD spektrumları incelendiğinde nitrat tuzu ile üretilen RGO/ZnO kompozitin yapısında, asetat ve klorür tuzundan üretilen RGO/ZnO kompozitlere göre hidroksil fazına ait piklerin daha belirgin olduğu gözlenmektedir.

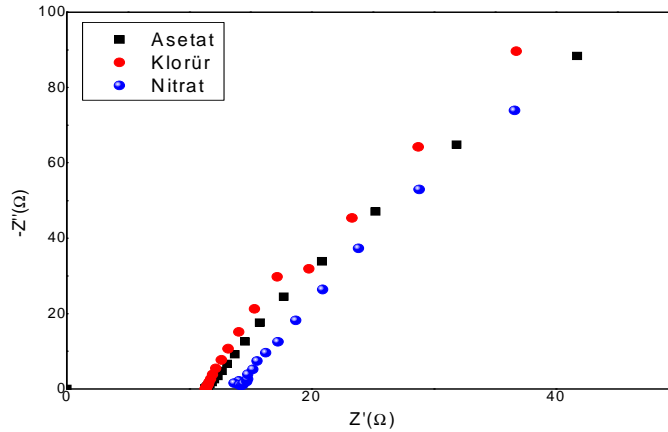
Tablo 1. RGO/ZnO elektrotlarının 5 mV/s tarama hızında hesaplanan kapasitans değerleri

Çinko tuzu	Ortalama Akım (mA)	Kütle (g)	Tarama hızı (mV/s)	Kapasitans (F/g)	Kapasitans değerindeki azalma miktarı(%)
Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	3.4	0.0129	5	52.71	39
ZnCl ₂	2.8	0.0154	5	36.37	59
Zn(CH ₃ COO) ₂ ·2H ₂ O	1.9	0.0162	5	23.46	74



Şekil 4. Üretilen RGO/ZnO elektrotların döngüsel voltamogram grafikleri

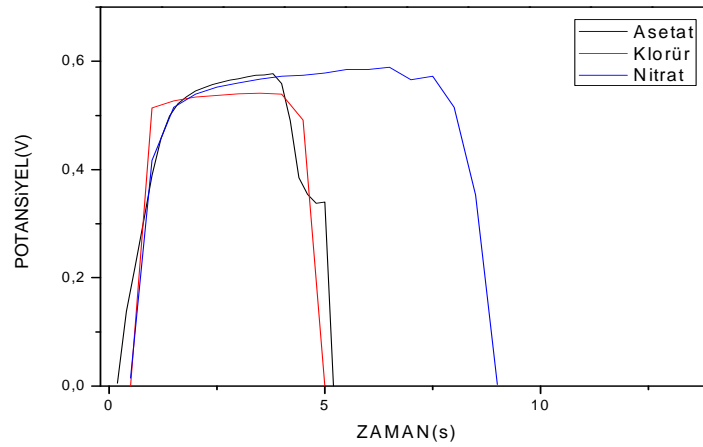
Farklı çinko kaynakları kullanılarak üretilen RGO/ZnO elektrotların elektrokimyasal empedans değerlerini gösteren Nyquist empedans grafikleri Şekil 5’de gösterilmiştir. Nyquist empedans grafikleri elektrotların reel ve imajinal empedans değerlerini göstermektedir. Empedans ölçümleri 0,01 Hz ile 100KHz lik frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Yüksek frekansta, Nyquist grafiklerin reel eksen (x-ekseni) kestiği nokta elektronun eşdeğer seri direncini (ESR) verir. Eşdeğer seri direnç elektrolit sıvısı (KOH), elektron direnci (RGO/ZnO) ve elektrot ile akım taşıyıcı tellerin kontak direncini içerir [22]. Çinko nitrat, çinko klorür ve çinko asetat tuzlarından üretilen RGO/ZnO elektrotların Nyquist grafiklerinden elde edilen ESR değerleri sırasıyla 14.1, 11.3 ve 11.5Ω civarında ölçülmüştür. Empedans ölçümlerinde düşük frekanslarda gözlenen ve elektrot ara yüzeyindeki yük transfer direncini ifade eden yarım çember şeklinde bir eğriye rastlanmamıştır. Bu durum elektrot ile elektrolit ara yüzeyinde hızlı yük transferi olduğunu ifade etmektedir.



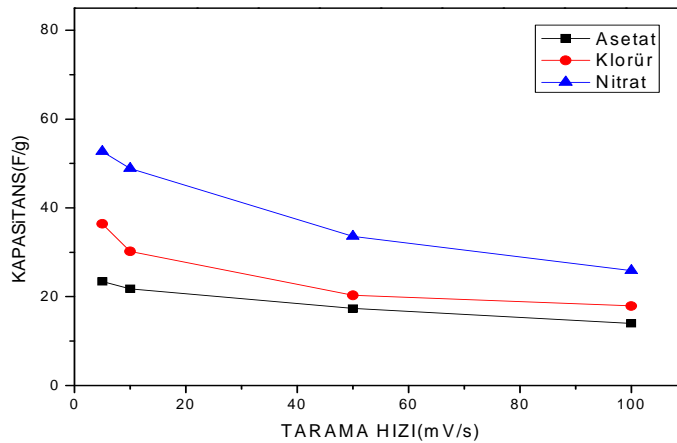
Şekil 5. Üretilen RGO/ZnO elektrotların Nyquist empedans spektrumları

Farklı çinko kaynakları kullanılarak sentezlenen RGO/ZnO elektrotların elektriksel yük dolma-boşalma (şarj-deşarj) eğrileri Şekil 6’da gösterilmiştir. Ölçümler 1,2 mA’lık sabit akım değeri altında 0-0,65V’luk değerler arasında gerçekleştirilmiştir. Dolma-boşalma eğrilerinden görüldüğü gibi çinko nitrat tuzundan üretilen

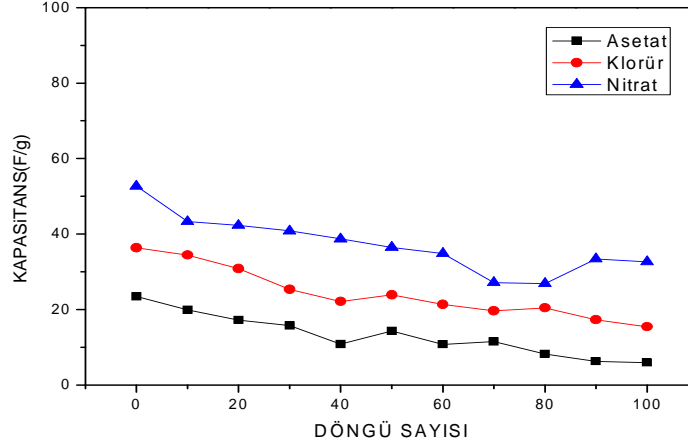
elektrodun dolma-boşalma süresinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum süper kapasitörler için istenen bir özelliktir. Şekil 6' daki deşarj eğrilerinin doğrusal parçaları, RGO/ZnO elektrotların çift katmanlı kapasitans davranışını gösterir. Bunun nedeni elektrot ile elektrolit ara yüzeyleri arasındaki yük ayrımıdır. Üretilen RGO/ZnO elektrotlarının spesifik kapasitans değerlerinin tarama hızına bağlı değişimi Şekil 7'de verilmiştir. Tüm elektrotlar için tarama hızı 5,10,50 ve 100 mV/s olacak şekilde seçilmiş ve tarama hızı arttıkça kapasitans değerinin azaldığı görülmüştür. RGO/ZnO elektrotların 5mV/s tarama hızında stabilite testleri Şekil 8'de gösterilmiştir. Üretilen elektrotların, spesifik kapasitans değerleri 100 döngü alınarak hesaplanmış ve 100 döngü sonunda elde edilen kapasitans değerlerindeki % azalma miktarları Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'deki değerlerden görüldüğü gibi 100 döngü sonunda çinko nitrat tuzundan üretilen elektrotun % azalma miktarı diğerlerine göre daha azdır. Bu sonuçlar çinko nitrat tuzundan yapılan RGO/ZnO elektrotun daha uzun ömürlü olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. Üretilen RGO/ZnO elektrotların dolma-boşalma eğrileri



Şekil 7. Üretilen RGO/ZnO elektrotların değişik tarama hızlarına bağlı olarak kapasitans değerleri değişimi



Şekil 8. Üretilen RGO/ZnO elektrotların döngü sayısına bağlı olarak kapasitans değerleri değişimi

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı çinko kaynakları kullanılarak üretilen indirgenmiş grafen oksit/çinko oksit (RGO/ZnO) kompozit malzemeler hidrotermal yöntem kullanılarak oluşturulmuştur. Elde edilen RGO/ZnO kompozitlerden süper kapasitör için elektrot yapımı gerçekleştirilmiş ve bu elektrotların kapasitans değerlerinin nasıl değişiklik gösterdiği incelenmiştir. Hidrotermal yöntem ile sentezlenen RGO/ZnO kompozit maddelerin XRD analizleri ve SEM fotoğrafları incelendiğinde wurtzite fazı ve kısmen hidroksit fazı içerdiği saptanmıştır. Bu durum ZnO parçacıklarının GO çözeltisi içine konulduğunda tekrar hidroksit fazı geri kazanması ve kısmen simonkolleite faza dönüşmesi ile açıklanabilir. Farklı çinko kaynakları kullanılarak üretilen RGO/ZnO elektrotların kapasitans değerleri incelendiğinde çinko nitrat tuzundan üretilen elektrodun en yüksek kapasitans değerine (52,71F/g) sahip olduğu gözlenmiştir. Çinko nitrat tuzu ile üretilen RGO/ZnO elektrodun kapasitans özelliğinin klorür ve asetat tuzları elde edilen RGO/ZnO elektrotlardan daha iyi olmasının nedeni nitrat tuzundan elde edilen RGO/ZnO kompozitin hidroksit yapı içermesi ile ilgili olabilir. Çinko nitrat tuzundan üretilen elektrodun 100 döngü sonunda spesifik kapasitans değerindeki % azalma miktarı diğerlerine göre daha azdır. Bu durum çinko nitrat tuzundan üretilen RGO/ZnO elektrodun daha uzun ömürlü olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak çinko nitrat tuzu ile elde edilen RGO/ZnO elektrodun yük taşımayı kolaylaştıran yüksek elektronegatif özelliğe sahip olduğu ve daha yüksek kapasitans özellik gösterdiği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Winter, M. & Brodd, R.J. (2004). What are batteries, fuel cells and super capacitors. *Chemical Reviews*. 104, 4245-4269.
- [2] Çalıklar, A. & Özdemir E. (2013). *Modern Enerji Depolama Sistemleri ve Kullanım Alanları*. 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu. Kartepe, Kocaeli: 175-179.
- [3] Burke A. (2000). Ultracapacitors: Why, How and where is the technology. *Journal of Power Sources*. 91(1), 37-50.
- [4] Miller, J.R. & Simon, P. (2008). Electrochemical capacitors for energy management. *Science*. 321, 651-652.
- [5] Zhang, L.L. & Zhao, X.S. (2009). Carbon-based materials as super capacitor electrodes. *Chemical Society Reviews*. 38, 2520-2531.

- [6] Hou, J., Shao, Y., Ellis, M.W., Moore, R.B. & Yi, B. (2011). Graphene-based electrochemical energy conversion and storage: fuel cells, super capacitors and lithium-ion batteries. *13*,15384-15402.
- [7] Wu, Z.S, Wang, D.W., Ren, W., Zhao, J., Zhou, G., Li, F. & Cheng, H.M. (2010). Anchoring hydrous RuO₂ on graphene sheets for high-performance electrochemical capacitors. *Advanced Functional Materials*.19, 772-777.
- [8] Fang, L., Zhang, B., Li, W., Huang, K. & Zihang, Q. (2014). Fabrication of highly dispersed ZnO nanoparticles embedded in graphene nanosheets for high performance supercapacitors. *Electrochimica Acta*. 148, 164-169.
- [9] Jayachandiran, J., Yesuraj, J., Arivanandhan, M., Raja, A., Suthanthiraraj, A.S., Jayavel, R. & Nedumaran, D. (2018). Synthesis and electrochemical studies of rGO/ZnO nanocomposite for supercapacitor application. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. 28 (5), 2046-2055.
- [10] Mohan, R., Kiran, K.A.B.V., Naman, A. & Subha, J. (2014). Studies on electrochemical properties of ZnO/rGO nanocomposites as electrode materials for supercapacitors. *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*. 23, 691-694.
- [11] Hummers, M.S. & Offeman, R.E. (1958). Preparation of graphitic oxide. *Journal of the American Chemical Society*. 80(6), 1339.
- [12] Xu, C., Wang, X. & Zhu, J. (2008). Graphene-metal particle nanocomposites. *Journal of Physical Chemistry*.112, 19841-19845.
- [13] Cai, D. & Song, M. (2007). Preparation of fully exfoliated graphite oxide nano platelets in organic solvents. *Journal of Materials Chemistry*. 17(35), 3678-3680.
- [14] Lu, C.H. & Yeh, C.H. (2000). Influence of hydrothermal conditions on the morphology and particle size of zinc oxide powder. *Ceramics International*. 26, 351-357.
- [15] Palanikumar, L., Ramasamy, S., Hariharan, G. & Balachandran, C. (2013). Influence of particle size of nano zinc oxide on the controlled delivery of amoxicillin. *Applications Nano Science*. 3, 441-451.
- [16] Gusattia, M., Barrosoa, G. S., de Camposb, C.E.M., de Souzaa, D. A. R., Rosariao, J., de A. Do, Limaa, R.B., Milliolia,C.C.,Silvaa, L.A.,Riellaa, H. G. & Kuhnena, N.C. (2011). Effect of different precursors in the chemical synthesis of ZnO nano crystals. *Materials Research*. 14(2), 264-267.
- [17] Alver, Ü. & Tanrıverdi, A. (2016). Boron doped ZnO embedded into reduced graphene oxide for electrochemical supercapacitors. *Applied Surface Science*. 378, 368-374.
- [18] Baruah, S. & Dutta, J. (2009). Hydrothermal growth of ZnO nanostructures. *Science Technology of Advanced Materials*. 10, 013001-013019.
- [19] Yogamalar, N.R. & Chandra Bose, A.C. (2011). Tuning the aspect ratio of hydrothermally grown ZnO by choice of precursor. *Journal of Solid State Chemistry*. 184, 12-20.
- [20] Peng, Y. Ji, J. & Chen, D. (2015). Ultrasound assisted synthesis of ZnO/reduced graphene oxidecomposites with enhanced photocatalytic activity andanti-photocorrosion. *Applied Surface Science*. 356, 762-768.
- [21] Wang, H.L., Robinson, J.T., Diankov, G. & Dai, J. (2010). Nanocrystal growth on graphene with various degrees of oxidation. *Journal of American Chemical Society*. 132, 3270-3271.
- [22] Zhang, J., Kong, L.B., Cai, J.J., Luo, Y.C. & Kang, L. (2010). Nanoflake-like cobalt hydroxide/ordered mesoporous carbon composite for electrochemical capacitors. *Journal of Solid State Electrochemistry*. 14, 2065-2075.

Araştırma Makalesi - Research Article

HepG2 Hücrelerinin Kısa Uçlu β -catenin Kodlayan İfade Vektörüyle Transfeksiyonu

Oğuzhan Karaosmanoğlu^{1*}

Geliş / Received: 12/12/2019

Revize / Revised: 09/04/2020

Kabul / Accepted: 16/05/2020

ÖZ

β -catenin, Wnt sinyalleşmesinde bir efektör proteinidir. β -catenin mutasyonları; otizm, kolon kanseri, gelişimsel gecikme, zihinsel engel, nörodejenerasyon, baş, deri, ve yüz anomalileri gibi çok sayıda hastalıkların gelişmesinde raporlanmıştır. Bu hastalıklar, özellikle ekson 3 delesyonu aracılı β -catenin kısılmalarıyla ilişkilendirilmiştir. Bu nedenle β -catenin proteininin yabancı tip ve ekson 3 delesyonlu formlarının fonksiyonlarını anlamak çok sayıda hastalığın tedavisinde ilerlemeyi sağlayabilecektir. Kontrollü deneyler kurmak için, yabancı tip ve ekson 3 delesyonlu β -catenin formlarını kodlayan ve aynı organizmadan kökenlenen ekspresyon vektörlerine ihtiyaç duyulabilmektedir. HepG2 hücrelerinin β -catenin proteinleri bakımından heterozigot olduğu uzun zamandır bilindiği için, bu çalışmada, yabancı tip ve ekson 3 delesyonlu ekspresyon vektörlerini HepG2 hücrelerinin toplam RNA'sından oluşturmanın değerli olabileceği düşünülmüştür. Bunun için, HepG2 hücrelerinden RNA izole edilmiştir, cDNA parçaları polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) ile çoğaltılmıştır, ifade vektörleri oluşturularak 5'-uçlarından dizilenmiştir. BLAST analizi sonrası hem ekson 3 delesyonlu hem de yabancı tip β -catenin kodlayan pcDNA3.1/CTNNB1 ifade vektörlerinin *E. coli* hücrelerine başarıyla klonlandığı sonucuna varılmıştır. İlginç bir şekilde, HepG2 hücreleri ekson 3 delesyonlu ifade vektörü ile transfekte edildiğinde, β -catenin protein seviyesi etkilenmemiştir. Dahası hücre morfolojisi ve popülasyon ikilenme zamanı anlamlı ölçüde değişmemiştir.

Anahtar Kelimeler- Kısa uçlu β -catenin, Ekson 3, Klonlama, Wnt sinyalleşmesi, BLAST analizi

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: karaosmanoglu@kmu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-2028-7339>)

Biyoloji Bölümü, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Yunus Emre Yerleşkesi, 70200, Karaman, Türkiye

The Transfection of HepG2 cells with Truncated β -Catenin Coding Expression Vector

ABSTRACT

β -catenin is an effector protein in Wnt signaling. β -catenin mutations are reported in the development of many diseases such as autism, colorectal carcinoma, developmental delay, intellectual disability, neurodegeneration, skin, hair and facial anomalies. Exon 3 deletion mediated truncations of the β -catenin associated with these diseases. Therefore understanding the functions of wild type and exon 3 deleted forms of β -catenin may provide an enhancement in the treatment of many diseases. However, to conduct controlled experiments, there could be a demand for the expression vectors that code for wild type and exon 3 deleted forms of β -catenin and originated from the same organism. Since it has long been known that HepG2 cells are heterozygous for β -catenin, in this study, it was found worthy of constructing the expression vectors from the total RNA of HepG2 cells. Then the utility of truncated β -catenin coding pcDNA3.1/CTNNB1 expression vector for upregulation of truncated β -catenin in HepG2 cells was examined. To this end, RNA was isolated from HepG2 cells, cDNA fragments were amplified by polymerase chain reaction (PCR), expression vectors were constructed then sequenced from 5'-prime regions. Following the BLAST analysis, it was concluded that both truncated and wild type β -catenin coding pcDNA3.1/CTNNB1 expression vectors were successfully cloned in *E. coli* cells. Interestingly, when the parental HepG2 cells were transfected with exon 3 deleted expression vector, β -catenin protein levels were not affected. Moreover, cellular morphology and population doubling time were not significantly altered.

Keywords- *Truncated β -catenin, Exon 3, Cloning, Wnt signaling, BLAST analysis*

I. INTRODUCTION

β -catenin, or catenin (cadherin-associated protein) beta 1, or armadillo protein, is coded from the *CTNNB1* gene. The gene is 23.2 kb in length and has 16 exons. However, the first exon does not code for any peptide. The mature *CTNNB1* mRNA is 3362 nucleotides in length and 2343 nucleotides reside in the open reading frame. β -catenin protein consists of 781 amino acids [1]. Phosphorylation from N-term of β -catenin protein with the activities of the glycogen synthase kinase -3 β (GSK-3 β) results in the degradation of β -catenin and reduces the concentration of the protein by the ubiquitin-proteasome pathway [2, 3]. β -catenin turnover rate is controlled by the interaction with the destruction complex, which consists of Adenomatous Polyposis Coli (APC), Axin and GSK-3 β .

β -catenin is mainly localized in the cytoplasm; however, wnt ligands cause the accumulation of cytoplasmic β -catenin and the accumulated proteins further translocate to the nucleus. In the nucleus, β -catenin establishes heteromeric transcription factor complexes with the T cell factor-lymphoid enhancer factor family proteins [4]. These complexes have been assumed to activate oncogenes, which can promote cell proliferation and inhibit apoptosis [5-10].

β -catenin mutations are observed in the development many diseases such as autism [11], colorectal carcinoma [12], developmental delay, neurodegeneration, hair, skin, facial anomalies [13] and intellectual disability [14]. Exon 3 mutations are of the particular interest in the ongoing researches. Indeed, increased cellular proliferation, enhanced immunosuppression by the exon 3 mutation of β -catenin are reviewed [15]. Therefore understanding the functions of wild type and exon 3 mutated forms of β -catenin could open new avenues in the treatment of many diseases.

Researchers may need the wild type and truncated forms of β -catenin coding vectors in order to observe the impacts of two different forms of β -catenin proteins in the controlled experiments. Since it has long been known that HepG2 cells express both truncated and wild type forms of β -catenin [16], it was predicted in this study that the use of total RNA which was isolated from HepG2 cells could facilitate the simultaneous construction of truncated and wild type β -catenin coding vectors. For this purpose, total RNA was isolated from HepG2 cells and converted to the cDNA, then *CTNNB1* cDNAs were amplified with PCR, next expression vectors were constructed, after expression vectors cloned in the *E. coli* cells, further truncated and wild type pcDNA3.1/*CTNNB1* expression vectors were sequenced, subsequently similarity of the sequences were analysed in this study. Moreover, the use of truncated β -catenin coding expression vector for altering the expression of β -catenin was examined in HepG2 cells.

II. MATERIAL AND METHOD

A. Cell Culture

HepG2 hepatocellular carcinoma cells (ATCC, HB-8065) obtained from Prof. Dr Hülya Sivas (Eskişehir Technical University, Eskişehir, Turkey) were cultured as a monolayer in DMEM (Sigma-Aldrich, Munich, Germany) supplemented with 10% fetal bovine serum and 1% penicillin (100 U/ml)-streptomycin (100 μ g/ml) in a humidified 5% CO₂ atmosphere at 37 °C. Cells were detached from the culture flasks with the treatment of 0.25% trypsin/EDTA (Invitrogen, USA).

B. RNA Preparation and cDNA Synthesis

Total RNA was extracted from HepG2 cells with the use of RNeasy Mini kit (Qiagen, Hilden, Germany) according to the directions of the manufacturer. The quantity and purity of isolated RNAs were analyzed with the NanoDrop (Thermo, Wilmington, USA) device. Next, 500 ng total RNA was converted to cDNA with ProtoScript II First Strand cDNA Synthesis kit (NEB, USA) according to the manufacturers' protocol.

C. Primer Design

To clone truncated and wild type forms of mature *CTNNB1* mRNAs from HepG2 cells, *CTNNB1* mRNA sequence (NM_001098209.1) was gathered from the National Center for Biotechnology Information

(NCBI) database. Coding regions containing start and stop codons of mature CTNNB1 mRNA were selected to design the primers. By using the primer-blast program from the NCBI database, the primer pair was designed. Next, the NheI restriction site and Kozak sequence were added to the CTNNB1 forward primer, then the KpnI restriction site was added to the reverse primer. The resulting forward and reverse primers were 5'-TAATGCTAGCCACCATGGCTACTCAAGCTGATTTG-3' and 5'-CTCAGGTACCGCCCTCTCAGCAACTCTACA-3', respectively.

D. PCR Amplification of cDNA Fragment

Polymerase chain reaction (PCR) was performed in a 50 µl mixture containing 25 µl of 2× Q5 high fidelity master mix (NEB, USA) with Mg⁺⁺, 1 µl of mixed dNTPs (0.2 µM each), 2.5 µl of each specific primer (0.5 10 µM), 0.5 µl of Q5 high fidelity DNA polymerase (1 u/µl) (NEB, USA), 4 µl of template cDNA and 17 µl of water. The PCR program was 98 °C for 30 seconds, then 30 cycles of 98 °C for 10 seconds, 63°C for 20 seconds and 72 °C for 20 seconds, followed by 72 °C for 2 minutes. In the end, the PCR products were run on 1.5% agarose electrophoresis.

E. Construction of the Expression Vectors

The PCR products were run on 1% agarose gel electrophoresis then the DNA bands were cleaned by QIAquick PCR purification kit (Qiagen, Hilden, Germany) according to the guidelines of the manufacturer. The purified PCR products were inserted into the NheI and KpnI sites of the pcDNA3.1/Hygro (Invitrogen, USA) expression vector (Invitrogen, USA) by double digestion with corresponding enzymes. Next, organic extraction with phenol: chloroform was implemented to eliminate the restriction enzymes from the solution containing digested PCR products and expression vector as previously indicated [17]. Then, column purification was performed with Chromaspin TE-1000 (Clontech, Heidelberg, Germany) to eliminate the contaminating oligonucleotides, salts and other chemicals further. After the concentrations of purified PCR products and expression vector were assessed by NanoDrop (Thermo, Wilmington, USA) device and the lengths of digested PCR products and expression vector were analysed by 1.5% agarose electrophoresis. The ligation reaction was set up with combining 10 ng vector and 30 ng PCR products in 1× T4 DNA ligation buffer (NEB, USA).

F. Transformation, Selection and Validation of Recombinant E.coli Cells

The products of the ligation reaction were transformed into E.coli DH5-α cells. Next, transformed E.coli cells were selected in plates of 100 µg/ml Ampicillin containing Luria-broth (LB/Amp) medium. Colony PCR was performed to validate the truncated and wild type CTNNB1 inserts in the vectors.

G. Sequencing of Truncated and Wild Type pcDNA3.1/CTNNB1 Expression Vectors

Positive colonies were further incubated in LB/Amp medium and plasmid isolation was carried out using Nucleospin miniprep (Macherey-Nagel, Düren, Germany) with the instructions of the manufacturer. The purity and quantity of isolated plasmids were evaluated with NanoDrop (Thermo, Wilmington, USA) device. Next, Sanger sequencing was performed by using CMV-forward primer in ABI Prism 3130 Genetic Analyzer (Applied Biosystems, USA) which is available in a company (Sentegen, Ankara, Turkey).

H. Analysis of Sequence Similarity

Database sequence similarity search in the Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) program was performed at the NCBI database to find out the sequences that correspond to the truncated and wild type pcDNA3.1/CTNNB1 expression vector sequencing data.

I. Stable Transfections and in-Cell Western Analysis

Transfections with truncated pcDNA3.1/CTNNB1 expression vector and the empty pcDNA3.1/Hygro plasmid were performed by using Turbofect Reagent (Thermo, Germany) as previously described [18]. In order to examine whether the β-catenin levels with the transfection of truncated pcDNA3.1/CTNNB1 expression vector in HepG2 cells, the in-cell Western analysis was performed as previously described [18]. Briefly, 5,000

cells were seeded to each well of 96-plate and incubated for 48 h. Next the cells were fixed with ice-cold methanol for 10 minutes at -20°C . Then the cells were washed with phosphate buffered saline (PBS). After the cells were blocked in Odyssey blocking buffer (Licor, Lincoln, USA). Further the cells were incubated with an anti- β -catenin antibody (CST, Danvers, USA) in 0.1% Tween-20 containing Odyssey blocking buffer for overnight at 4°C in a shaker. Next the cells were washed with PBS/0.1% Tween-20. Then cells were incubated with an Infrared IRDye800CW secondary antibody (Licor, Lincoln, USA) and cell tag stain (Licor, Lincoln, USA) in 0.2% Tween-20 containing Odyssey blocking buffer for 1 h in room temperature. Subsequently cells were washed with PBS and imaged on an infrared scanner (Odyssey, Licor, Lincoln, USA) using both 700 and 800 nm wavelength channels. The signals from 800 nm wavelength were used for quantification of β -catenin expression. The signals from 700 nm wavelength were used for quantification of cell number. Data were analysed with ImageStudio tool (Licor, Lincoln, USA).

J. Morphological Observations

Alterations in the morphology of HepG2-tCTNNB1 cells which were transfected with pcDNA3.1/CTNNB1 and HepG2-EV cells which were transfected with pcDNA3.1/Hygro were assessed by an inverted microscope (BX 50, Olympus, USA).

K. Population Doubling Time Analysis

For the analysis of population doubling times, 3×10^6 cells were seeded into 8.5 cm^2 petri dishes. The number of cells per dish was counted every day for 3 days with a Cedex (Roche Innovatis, Germany) cell counter. The population doubling time of HepG2-tCTNNB1 and HepG2-EV cells were calculated with the formula of “Population doubling time=Culture period in hours* $\ln 2 / [\ln(\text{Number of cells } T=O / \text{Number of cells } T=1)]$ ”.

L. Statistical Analysis

Statistical analyses, graphing were implemented by using GraphPad (GraphPad Prism 6, San Diego, CA, USA). Student t-test was used for differential analyses and p-values less than 0.05 were considered to be statistically significant.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Truncated and wild type forms of CTNNB1 coding mRNAs that are originated from HepG2 cells were cloned in *E. coli* cells then sequenced in this research. The cloning strategy was consisting of the amplification of truncated and wild type forms of CTNNB1 cDNAs with the same primer pair that is mentioned in the material methods section. Next, the amplified PCR products were inserted to the NheI/KpnI sites of the pcDNA3.1/Hygro mammalian expression vector. Then the inserts were checked on the isolated vectors by the digestion with NheI enzyme and run on standard 1.5% agarose gels stained with ethidium bromide. As is shown in Figure 1, Lambda DNA-BstE II digest (NEB, USA) which is the standard ladder was loaded to the first lane. Digested pcDNA3.1 expression vectors, in which the inserts were truncated and wild type forms of CTNNB1 cDNAs, were loaded to the second lane. Digested pcDNA3.1 expression vectors, in which the inserts were truncated form of CTNNB1 cDNAs, were loaded to the third and fourth lanes. Digested pcDNA3.1 expression vector, in which the insert was wild type form of CTNNB1 cDNA, was loaded to the fifth lane. Based on the observations from Figure 1, it was concluded that the cloning experiment resulted in the construction of two different expression vectors that are different about 300-400 nucleotides in their size. In order to validate that these vectors code different forms of β -catenin, the sequencing experiment was conducted. Then the resulting sequences were analyzed with the BLAST program to find out the similar sequences in the reference RNA database.

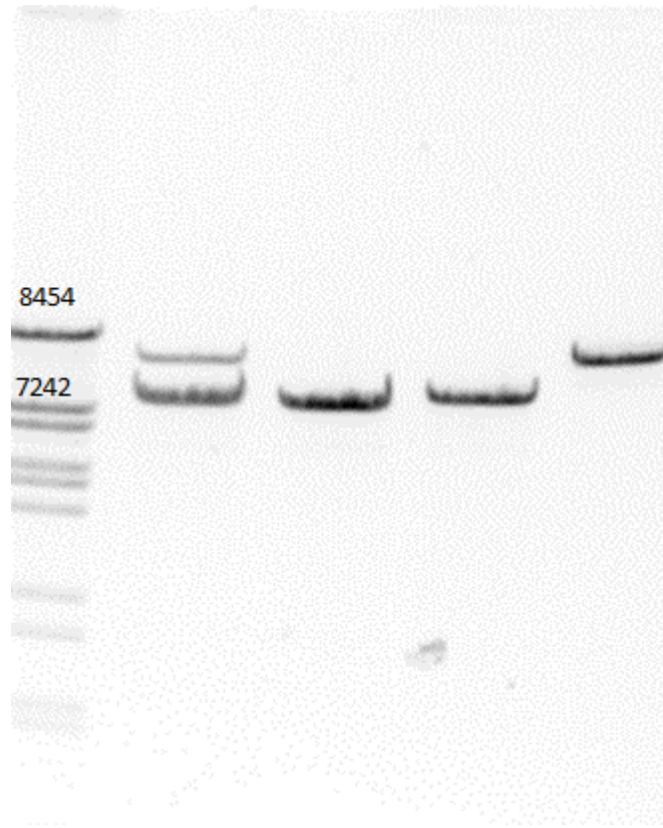


Figure 1. Validation of existence of the truncated and wild type forms of CTNNB1 cDNAs in the pcDNA3.1 expression vectors that were digested with NheI enzyme and run on standard 1.5% agarose gel, which was stained with ethidium bromide. Lambda DNA-BstE II digest (NEB, USA) standard ladder is in the first lane. pcDNA3.1 expression vectors coding for the truncated and wild type forms of β -catenin are in the second lane. pcDNA3.1 expression vectors coding for the truncated form of β -catenin is in the third and fourth lanes. pcDNA3.1 expression vector coding for the wild type β -catenin is in the fifth lane

It was observed from the BLAST reports (Figure 2) that the insert in the pcDNA3.1/CTNNB1 vector was 99% homolog to the CTNNB1 reference RNA sequence (NM_001098209.1). In addition, the insert in the truncated pcDNA3.1/CTNNB1 vector was also 98% homolog to the CTNNB1 reference RNA sequence. Truncated pcDNA3.1/CTNNB1 vector has a deletion that is 348 nucleotides in length, which corresponds to 286-635 nucleotides in the reference RNA. Since this deletion may result in partial incorporation of exon 3 and exon 4, the translated β -catenin protein will be deprived of 116 amino acids. In the literature, this deletion has been associated with the accumulation of β -catenin, because the deleted site in the truncated β -catenin is responsible for the phosphorylation executed by GSK - 3 β . Moreover, N-terminal β -catenin phosphorylations by GSK - 3 β promote the turnover rate of β -catenin [16].

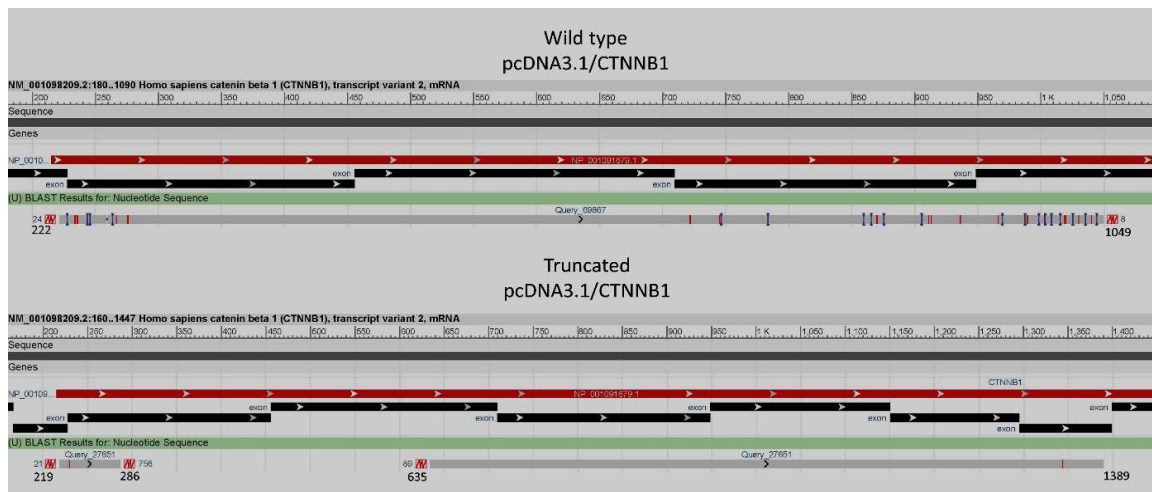


Figure 2. Blast reports of wild type and truncated pcDNA3.1 vectors. Red lines in the figure stand for reference RNA sequence, black lines for exons and the grey lines for query sequences that were subjected to BLAST analysis. The sequenced part of wild type pcDNA3.1/CTNNB1 vector corresponds to the nucleotides between 222-1049 in the reference RNA (NM_001098209.1). The sequenced part of the truncated pcDNA3.1/CTNNB1 vector corresponds to the nucleotides between 219-286 and 635-1389 in the reference RNA (NM_001098209.1). Since truncated pcDNA3.1/CTNNB1 vector has a deletion of 348 nucleotides in length, exon 3 and exon 4 is partially incorporated into the protein.

Then the parental HepG2 cells were transfected with truncated pcDNA3.1/CTNNB1 vector and resulting cells were grown under the antibiotic pressure. Next, the cells were investigated for the β -catenin expression. It was observed from the in-cell western analysis that relative β -catenin levels were not significantly different in HepG2/EV and HepG2/tCTNNB1 cells (Figure 3). In the literature, it was reported that β -catenin lacking its C terminus failed to accumulate in *Drosophila melanogaster* [19]. In another study, the authors suggested that the flexible C-terminal region of β -catenin is intrinsically required for its stabilization [20]. In this study, the reason for the stable levels of β -catenin by the transfection with truncated pcDNA3.1/CTNNB1 expression vector in HepG2 cells could not be related to the poorer stabilization of truncated β -catenin by deletion of its N-terminal region. Because truncated N-terminal associated with the accumulated β -catenin [16]. Therefore, the explanation of this observation remains as a question for further studies.

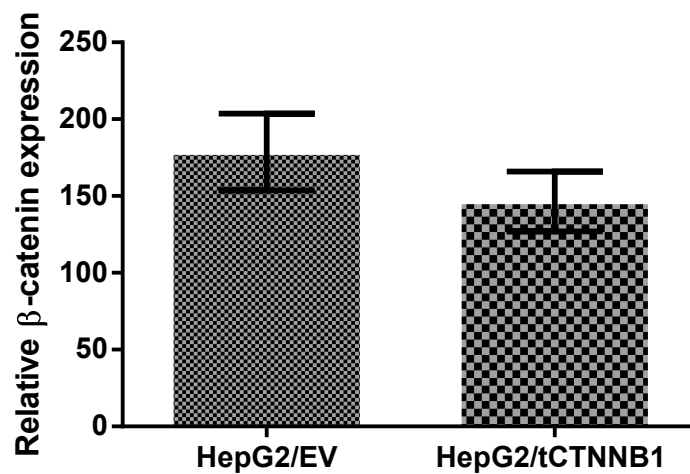


Figure 3. Transfection with truncated pcDNA3.1/CTNNB1 expression vector was not significantly altered the β -catenin levels in HepG2 cells. Relative β -catenin expressions, which were determined by in-cell western analysis, were not significantly different in HepG2/EV and HepG2/tCTNNB1 cells ($p > 0.05$).

Morphological analysis of HepG2-EV and HepG2-tCTNNB1 revealed that transfection with pcDNA3.1/Hygro and truncated pcDNA3.1/CTNNB1 expression vector was not significantly altered the morphology of HepG2 cells (Figure 4).

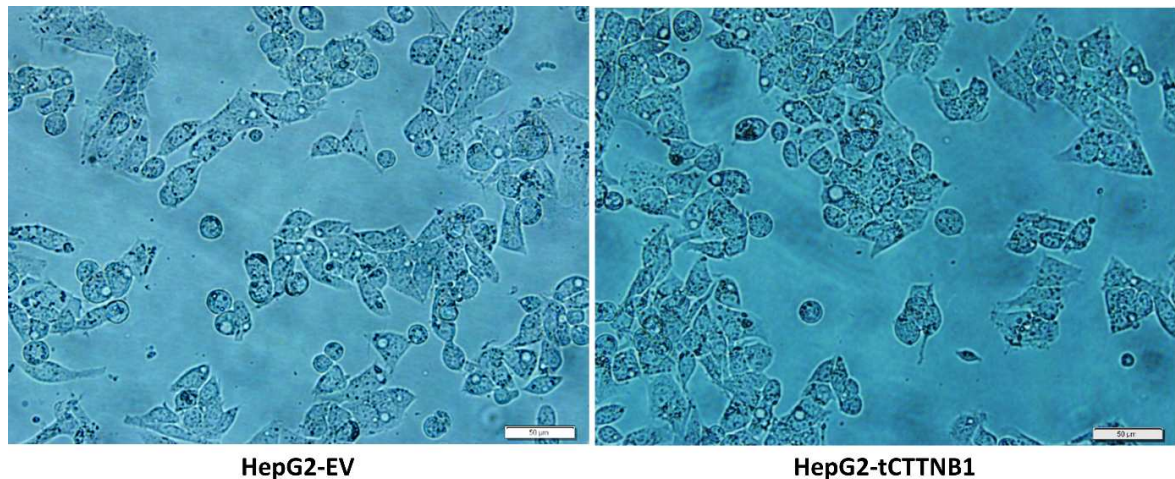


Figure 4. Morphological comparison of HepG2-EV and HepG2-tCTNNB1 cells indicated that these two cells were not significantly different from each other. Scale bars are 50 µm

As indicated in Table 1 population doubling times were 26.03 and 26.56 for HepG2-EV and HepG2-tCTNNB1, respectively. The population doubling times of HepG2-EV and HepG2-tCTNNB1 cells were not significantly different. Therefore, transfection with pcDNA3.1/Hygro and truncated pcDNA3.1/CTNNB1 expression vector was not significantly altered the population doubling times.

Table 1. Population doubling times for HepG2-EV and HepG2-tCTNNB1 cells. Data are shown as Mean ± SEM of three independent biological replicates.

Cell Line	Population Doubling Time (h)
HepG2-EV	26.03±2.9
HepG2-tCTNNB1	26.56±3.0

IV. CONCLUSION

In this research, two different forms of CTNNB1 coding cDNAs were simultaneously inserted into the pcDNA3.1 vector. Since β -catenin is an essential mediator of cell-cell adhesion and a transcription factor in the Wnt pathway, this cloning experiment can be considered as an initial step for conducting further experiments that aim to understand the different functions of truncated and wild type β -catenin proteins in the cell. In addition, transfection with truncated pcDNA3.1/CTNNB1 expression vector was not altered the β -catenin levels, morphology and population doubling times in HepG2 cells. Therefore it is not a good idea to upregulate the expression of the truncated form of β -catenin by using truncated pcDNA3.1/CTNNB1 expression vector in HepG2 cells.

ACKNOWLEDGEMENT

The author is grateful to The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) for supporting this research with the grant number of 114S207.

REFERENCES

- [1] Nollet, F., Berx, G., Molemans, F., van Roy, F. (1996) Genomic Organization of the Human β -Catenin Gene (CTNNB1). *Genomics*, 32, 413–424.
- [2] Ikeda, S., Kishida, S., Yamamoto, H., et al. (1998) Axin, a negative regulator of the Wnt signaling pathway, forms a complex with GSK-3 β and β -catenin and promotes GSK-3 β -dependent phosphorylation of β -catenin. *EMBO J*, 17, 1371–1384.
- [3] Aberle, H., Bauer, A., Stappert, J., et al. (1997) β -catenin is a target for the ubiquitin–proteasome pathway. *EMBO J*, 16, 3797–3804.
- [4] Cadigan, K.M., Nusse, R. (1997) Wnt signaling: a common theme in animal development. *Genes Dev*, 11, 3286–3305.
- [5] Peifer, M. (1997) β -Catenin as Oncogene--The Smoking Gun. *Science*, 80- 275, 1752 LP-1752.
- [6] Chen, S., Guttridge, D.C., You, Z., et al. (2001) WNT-1 Signaling Inhibits Apoptosis by Activating β -Catenin/T Cell Factor–Mediated Transcription. *J Cell Biol*, 152, 87 LP-96.
- [7] You, L., He, B., Uematsu, K., et al. (2004) Inhibition of Wnt-1 Signaling Induces Apoptosis in β -Catenin-Deficient Mesothelioma Cells. *Cancer Res*, 64, 3474 LP-3478.
- [8] de la Taille, A., Rubin, M.A., Chen, M-W., et al. (2003) β -Catenin-related Anomalies in Apoptosis-resistant and Hormone-refractory Prostate Cancer Cells. *Clin Cancer Res*, 9, 1801 LP-1807.
- [9] Merle, P., Kim, M., Herrmann, M., et al. (2005) Oncogenic role of the frizzled-7/ β -catenin pathway in hepatocellular carcinoma. *J Hepatol*, 43, 854–862.
- [10] Fodde, R., Brabletz, T. (2007) Wnt/ β -catenin signaling in cancer stemness and malignant behavior. *Curr Opin Cell Biol*, 19, 150–158.
- [11] O’Roak, B.J., Vives, L., Fu, W., et al. (2012) Multiplex targeted sequencing identifies recurrently mutated genes in autism spectrum disorders. *Science*, 338, 1619–1622.
- [12] Horpaopan, S., Spier, I., Zink, A.M., et al. (2015) Genome-wide CNV analysis in 221 unrelated patients and targeted high-throughput sequencing reveal novel causative candidate genes for colorectal adenomatous polyposis. *Int J Cancer*, 136, E578–E589.
- [13] Dubruc, E., Putoux, A., Labalme, A., et al. (2014) A new intellectual disability syndrome caused by CTNNB1 haploinsufficiency. *Am J Med Genet Part A*, 164,1571–1575.
- [14] Kuechler, A., Willemsen, M.H., Albrecht, B., et al. (2015) De novo mutations in beta-catenin (CTNNB1) appear to be a frequent cause of intellectual disability: expanding the mutational and clinical spectrum. *Hum Genet*, 134, 97–109.
- [15] Gao, C., Wang, Y., Broaddus, R., et al. (2017) Exon 3 mutations of CTNNB1 drive tumorigenesis: a review. *Oncotarget*, 9, 5492–5508.
- [16] Carruba, G., Cervello, M., Miceli, MD., et al. (1999) Truncated Form of β -Catenin and Reduced Expression of Wild-Type Catenins Feature HepG2 Human Liver Cancer Cells. *Ann N Y Acad Sci*, 886, 212–216.
- [17] Sambrook, J., Russell, D.W. (2006) Purification of Nucleic Acids by Extraction with Phenol:Chloroform. *Cold Spring Harb Protoc*, 2006:pdb.prot4455.

- [18] Karaosmanoğlu, O., Banerjee, S., Sivas, H. (2018) Identification of biomarkers associated with partial epithelial to mesenchymal transition in the secretome of slug over-expressing hepatocellular carcinoma cells. *Cell Oncol*, 41, 439–453.
- [19] Cox, R.T., Pai, L.M., Kirkpatrick, C., et al. (1999) Roles of the C terminus of Armadillo in Wingless signaling in *Drosophila*. *Genetics*, 153, 319–332.
- [20] Mo, R., Chew, T.-L., Maher, M.T., et al. (2009) The terminal region of beta-catenin promotes stability by shielding the Armadillo repeats from the axin-scaffold destruction complex. *J Biol Chem*, 284, 28222–28231.

Araştırma Makalesi – Research Article

Edirne Koşullarında Farklı Azot Dozu Uygulamalarının Sorgum x Sudan Otu (*Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) Melez Çeşitlerinin Verim ve Bazı Kalite Özelliklerine Etkileri

Murat Atalay¹, Ertan Ateş^{2*}

Geliş / Received: 07/04/2020

Revize / Revised: 21/05/2020

Kabul / Accepted: 26/05/2020

ÖZ

Araştırma, Edirne ilinde ekilen sorgum x sudan otu melez çeşitlerine uygulanan farklı azot dozlarının erken dönemde yapılan biçimden elde edilen verim ve bazı kalite özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Edirne ili Havsa ilçesi Musulca Köyü'nün sulanabilen çiftçi arazisinde 2014 yılında yapılan çalışma Tesadüf Blokları Faktöriyel Deneme Desenine göre 4 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Farklı azot dozları (0, 4, 8, 12, 16 kg/da) ve sorgum x sudan otu melez çeşitlerinin (Greengo and Sugar Graze II) yaprak sayısı, yaprak/sap oranı, sap çapı, toplam yeşil ve kuru ot verimi, ham protein oranı, toplam protein verimi, ham selüloz, ADF ve NDF oranlarını önemli ölçüde etkilediği saptanmıştır. Uygulanan azot miktarının artışı ile bitkide yaprak sayısı, sap çapı, toplam yeşil ve kuru ot verimi, ham protein oranı ve toplam protein verimi artarken; ham selüloz, asit deterjanda çözünmeyen lif ve nötr deterjanda çözünmeyen lif oranları ise düşmüştür. Azotlu gübreleme yapılmadığında, Greengo çeşidinin toplam yeşil (1585.60 kg/da) ve kuru ot (528.70 kg/da) verimleri ile toplam ham protein verimi (58.16 kg/da) en düşük saptanmıştır. Ham selüloz, asit deterjanda çözünmeyen lif ve nötr deterjanda çözünmeyen lif oranları ise dekara uygulanan saf azot miktarının artmasıyla düşmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlar topluca irdelendiğinde; Trakya yöresinin farklı lokasyonlarında daha uzun süreli çalışmaların yapılmasının gerektiği ve yüksek verim ile kalite özellikleri bakımından Sugar Graze II çeşidinin dekara 16 kg saf azot uygulaması yapılarak ana ürün şeklinde yetiştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler- Azot Dozları, Kalite Özellikleri, Ot Verimi, Sorgum x Sudan Otu Melezi

¹İletişim: muratatalay_zm@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-3046-428X>)

Heksagon Katı Atık Yönetimi San. ve Tic. A.Ş., İstanbul

^{2*}Sorumlu yazar iletişim: ertan_ates@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-3048-497X>)

Tarla Bitkileri Bölümü, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süleymanpaşa, Tekirdağ

Effect of Different Nitrogen Doses on Yield and Some Quality Properties in Sorghum x Sudan Grass Hybrid (*Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) Cultivars under Edirne Ecological Conditions

ABSTRACT

The aim of this investigation was to determine the effect of different nitrogen doses on yield and some quality properties of sorghum x Sudan grass hybrids (*Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) cultivars (Greengo and Sugar Graze II) in Musulca village-Edirne ecological conditions in 2014. The experiment was laid out in a two-factor factorial in randomized complete block design with four replicates. The different nitrogen doses (0, 4, 8, 12, 16 kg da⁻¹) and cultivars (Greengo and Sugar Graze II) affected the leaves/plant, leaf/stem ratio, total green fodder yield, total hay yield and neutral detergent fiber ratio. Contrary to crude fiber ratio, acid detergent fiber and neutral detergent fiber; the stem diameter, the leaves/plant, leaf/stem ratio, total green fodder yield, total hay yield, crude protein ratio and total protein yield increased depending on the nitrogen doses. In cv. Greengo, total green fodder, hay and protein yields were 1585.60 kg da⁻¹, 528.70 kg da⁻¹ and 58.16 kg da⁻¹, respectively, by not applying nitrogen. The nitrogen application at the rate of 16 kg da⁻¹ significantly decreased crude fiber (28.03-29.20 %) and neutral detergent fiber (57.27 %) over control. According to results, cultivation of the cv. Sugar Graze II for higher forage yield and quality at the 16 kg da⁻¹ application is recommended in Edirne province and similar ecological conditions.

Keywords- Nitrogen Doses, Quality Traits, Forage Yield, Sorghum x Sudan Grass Hybrid

I. GİRİŞ

Marmara Bölgesi'nin Trakya kesimi hayvancılık potansiyelinin yüksek olduğu bölgeler arasında yer almaktadır. Trakya yöresi yüz ölçümünün % 55'i tarım arazisi, % 24'ü orman, % 10'u çayır-mera arazisi, % 11'i tarıma elverişsiz arazilerden oluşmaktadır [1]. Yörede tarımsal üretimin gerçekleştiği toplam arazi varlığının yaklaşık % 4'ünde yem bitkileri yetiştiriciliği yapılmakta ve ekim alanı olarak 428 410 dekar alanda kaba yem üretimi gerçekleştirilmektedir. Hayvancılık potansiyelinin yüksek olduğu bu yörede hayvan varlığı 1.4 milyon büyükbaş hayvan birimi (BBHB) civarında olup [2], bu hayvanların kaliteli kaba yem ihtiyaçları mevcut yem bitkileri yetiştiriciliği ile karşılanamamaktadır. Gerek yurdumuzun tamamında gerekse de Trakya yöresinde yem bitkileri ekim alanları artırılmalı, mevcut ekiliş ve üretime verilen desteklemelerin kesintisiz sürdürülmesi, hayvan sayısı ile hayvansal üretimin artmasına yönelik olarak ta süt desteklemelerinin AB ve ABD seviyelerinde sağlanması gerekmektedir. Bununla birlikte, ekim nöbeti sistemleri içerisinde de arzu edilen oranda yem bitkileri ekim alanına ulaşılamamışsa da bugün 1.9 milyon hektara [3] çıkan yem bitkileri ekilişi (kaba yem üretimi için hasat edilen tahıllar hariç) umut vericidir. Bu durum, desteklemelerin devam ettirilmesinin doğru olacağını göstermektedir. Yem bitkileri üretim alanlarına ait istatistiklerde daha önce yer almayan yem bitkileri yetiştiriciliklerinin [yem bezelyesi (*Pisum arvense* L.) vb.] başlamış olması da bunun ne kadar önemli olduğunu bir kez daha göstermektedir [4].

Yurdumuzda ve Edirne ilinde yetiştirilen ve ekim alanı artan yem bitkilerinin başında buğdaygiller (*Poaceae* sp.) familyasında yer alan ve sıcak iklim bitkisi olan sorgum (*Sorghum bicolor* (Piper) Stapf), sudan otu (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) ile bu iki türün melezi olan çeşitler gelmektedir. Sorgum türleri ve melez çeşitleri dünyada da ekim alanı ve üretim miktarı bakımından buğday (*Triticum* sp.), arpa (*Hordeum vulgare* L.), mısır (*Zea mays* L.) ve çeltik (*Oryza sativa* L.)'ten sonra en çok ekilen önemli bir yem bitkisidir. Sorgum türleri birbirleri ile kolayca melezlenerek verimli döller vermekte olup, sorgum ile sudan otunun melezlenmesi sonucunda sorgum x sudan otu melezi elde edilmiştir [5]. Bitki silaj, yeşil ve kuru ot üretimi amacıyla yetiştirilmektedir. Sorgum x sudan otu melez çeşitleri sudan otu ve sorguma ait çeşitlere göre daha verimli olup ot kaliteleri daha yüksektir [6]. Ayrıca, biçimden sonra yapılacak sulama ve gübrelemeyle hızlı şekilde yeniden büyümesi, kaba yem üretiminin yüksek olması, orta derecede tuzluluğa dayanıklı ve mısıra göre toprak seçiciliğinin az ve kurağa dayanıklılığının yüksek olması ile fazla miktarda kardeş meydana getirmesi bitkiyi sorgum ve sudan otuna göre daha tercih edilir hale getirmiştir. Edirne ilinde hayvancılık yapan çiftçiler ile işletmeler, gereksinimleri olan kaba yemi karşılamaya yönelik olarak hamur olum döneminde biçtikleri sorgum x sudan otu melez çeşitlerini silaj üretiminde ve çiçek salkımının oluşmaya başladığı dönemde de ot üretimi amacıyla bitkiden yararlandıkları gibi bitkinin yaklaşık 0.8-1.2 m arasında olduğu erken dönemde biçim yaparak ta hayvanların günlük yeşil ot ile kuru ot ihtiyaçlarını karşılamaya çalışmaktadırlar.

Bunun yanında, yöredeki sorgum x sudan otu melezi eken yetiştiricilerin verimi çok fazla artırdığını düşünerek yüksek dozlarda azotlu gübreleme yaptıkları da gözlenmiştir. Azotlu gübrelemenin sorgum tür ve melezlerinde verim ve kaliteyi artırdığı bilinmektedir. Ancak; ot üretimi, otlatma ve silaj gibi yararlanma amacına, iklim ve toprak koşulları ile bitki çeşidine göre uygulanan azotlu gübre miktarı ve uygulama şekli değişebilmektedir. Ayrıca; Trakya'da yaygın olarak yetiştirilmeye başlanan sorgum x sudan otu melez çeşitlerinin tarımsal özellikleri ile bu çeşitlerin yetiştiriciliklerinde uygulanabilecek yeterli azot dozları hakkında ve erken dönemdeki biçimden elde edilen otların yem değerleri konusunda yeterli çalışma da bulunmamaktadır. Bu bahsedilen konuların aydınlatılması ve yöre yetiştiricilerine doğru bilginin verilmesi planlanarak; araştırma, Edirne ilinde yaygın olarak ekilen ve ot üretimi amacıyla erken dönemde biçilen iki sorgum x sudan otu melez çeşidine uygulanan farklı azot dozlarının ot verimi ile bazı kalite özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

II. MATERYAL METOT

Edirne ili Havsa ilçesi Musulca köyü ekolojik koşullarında sulanabilen tarım arazisinde yürütülen araştırmada, Ulusoy Tohumculuk şirketinden temin edilen iki farklı (Greengo ve Sugar Graze II) sorgum x sudan otu melez çeşidi materyal olarak kullanılmıştır. Toros Gübre firmasına ait % 33'lük amonyum nitrat (NH_4NO_3), Gübretaş firmasına ait % 21'lik amonyum sülfat [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$] ile % 43'lük triplesüperfosfat (TSP) [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$] gübrelemede kullanılmıştır. Denemenin kurulduğu tarla deniz seviyesinden 106 m yükseklikte olup $41^\circ 40' 10\text{N}$ kuzey enlemi ile $26^\circ 51' 54\text{E}$ doğu boylamlarının keşiştiği yerde bulunmaktadır.

Çalışmanın yapıldığı yere ait iklim verileri Tablo 1’de, toprak özellikleri de Tablo 2’de sunulmuştur. Toprak analizleri Edirne Ticaret Borsası Toprak Analiz Laboratuvarında yapılmış, iklim verileri Edirne Meteoroloji istasyonundan temin edilmiştir.

Tesadüf blokları faktöriyel deneme desenine göre 4 tekrarlamalı olarak 2014 yılında kurulan denemede her parsel 5 m uzunluğunda ve sıra arası 35 cm [6] olacak şekilde 6 sıradan oluşmuştur. Toprak analiz sonuçlarına göre, dekara saf 7 kg P₂O₅ gelecek şekilde her parsel için % 43’lük TSP’tan hesaplanan fosforlu gübre miktarları ekimle birlikte banda verilmiştir. Silaj üretimi amacıyla dekara 5-6 kg tohumluk kullanırken [7], ot üretimi amacıyla biçilen bitki saplarının kabalaşmaması için tohumluk miktarı artırılarak [8] ekim normu 8 kg/da olacak şekilde tavlı toprağa elle ekim Mayıs ayında gerçekleştirilmiştir [9]. Ekimden sonra merdane çekilmiştir.

Tablo 1. Araştırma yürütüldüğü aylara ait Edirne ilinin bazı iklim verileri

Aylar	Yağış (mm)		Sıcaklık (°C)		Nem (%)	
	Uzun yıllar	2014	Uzun yıllar	2014	Uzun yıllar	2014
Mayıs	53.3	53.4	18.1	24.6	78.0	79.8
Haziran	46.5	45.7	22.4	29.1	75.0	74.3
Temmuz	32.3	32.1	24.8	31.7	68.4	66.2
Ağustos	22.4	22.8	24.4	31.6	65.4	61.6
Eylül	37.2	37.0	19.9	27.2	77.0	69.9
Ekim	57.7	56.4	14.2	20.4	78.2	77.7
Ortalama			20.63	27.4	73.6	71.5
Toplam	249.4	247.4				

Tablo 2. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Sonuç	Birim	Değerlendirme
Bünye	46		Tınlı
Organik Madde	0.15	%	Çok Az
Tuz (mmhos/cm)	0.04	%	Tuzluluk Tehlikesi Yok
Kireç (CaCO ₃)	0	%	Az Kireçli
Toplam Azot (N)	0.01	%	Çok Az
Fosfor (P)	0.95	ppm	Çok Az
Potasyum (K)	132.38	ppm	İyi
Kalsiyum (Ca)	1328	ppm	Az
Magnezyum (Mg)	501.56	ppm	Fazla
Demir (Fe)	28.25	ppm	Yeterli
Bakır (Cu)	1.03	ppm	Yeterli
Çinko (Zn)	0.38	ppm	Az
Mangan (Mn)	1.35	ppm	Az

Dekara 4, 8, 12 ve 16 kg saf azot gelecek şekilde gübrenin yarısı ekimle birlikte % 21’lik amonyum sülfat gübresinden parsel boyutlarına göre hesaplanarak elle atılmıştır. Azot dozlarının kalan yarısı bitkiler 30-35 cm boya ulaştığında % 33’lük amonyum nitrat gübresi kullanılarak tamamlanmıştır. Kontrol (0 kg/da azot) parsellerinde yalnız fosforlu gübreleme yapılmıştır. Bitkilerin ihtiyaç duyduğu dönemlerde yağmurlama sistemiyle sulama sabah saatlerinde yapılmıştır. Yabancı bitkilerle elle çapalama yöntemiyle mücadele edilmiştir. Bitkiler 100-120 cm boya geldiğinde [6,9,10,11] her parselden rastgele seçilen 10 bitkide kardeş sayısı ve bitkide yaprak sayısı bulunmuş ve parsel kenarlarından birer sıra ile parsel başlarından 35 cm’lik kısımlar kenar tesiri olarak çıkarıldıktan sonra toprak seviyesinden 10 cm yükseklikten biçilerek [11] parsellerin yeşil ot verimleri belirlenmiştir. Rastgele seçilen bu bitkilerin yaprakları saptardan ayrıldıktan sonra ayrı ayrı tartılmış ve yaprak ağırlığı ile sap ağırlığı birbirine oranlanarak yaprak/sap oranı saptanmış [12], 3. ve 4. boğum araları elektronik kumpasla ölçülerek te sap çapı (cm) tespit edilmiştir [13]. İlk biçimden sonra yapılan 2. ve 3. biçimlerde de aynı azot dozları % 33’lük amonyum nitrat gübresi kullanılarak yarısı biçimden sonra diğer yarısı da bitkiler 30-35 cm boylandığında uygulanmıştır. Her biçimden sonra daha önce belirtildiği şekilde sulama uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Üç biçimden alınan yeşil ot verimlerinden çeşitlerin toplam yeşil ot verimi (kg/da) hesaplanmıştır. Yeşil ot örneklerinden yaklaşık 1 kg alınmış ve 55 °C’ de 48 saat kurutulup 1 gün oda sıcaklığında bekletildikten sonra tartılarak kuru ot verimi (kg/da) bulunmuştur [14]. Ham protein oranı (%)

mikro-Kjeldahl yöntemiyle saptanmış ve daha sonra kuru ot verimlerinden yararlanılarak toplam ham protein verimi (kg/da) hesaplanmıştır [15]. Weende yöntemi kullanılarak ham selüloz oranı (%) tespit edilmiş [16], asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF) ve nötr deterjanda çözünmeyen lif (NDF) oranları ise Goering ve Van Soest [17]' in belirttikleri yöntemle ANKOM 200 lif analiz cihazı ile saptanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar TOTEM-STAT istatistik programı kullanılarak analiz edilmiştir [18].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir (Tablo 3). Azot dozu uygulamaları ve çeşitler ile azot dozu x çeşit interaksyonları arasında bitkide kardeş sayısı bakımından istatistiksel olarak fark belirlenmemiş ve bitkide kardeş sayısı 3.93-4.10 adet arasında değişmiştir ($P>0.05$). Yüksel [19] farklı azot dozu uygulamalarında kardeş sayısını 4.27 adet olarak tespit ederken, Başaran [20] sorgum ve sorgum x sudan otu melez çeşitlerinde kardeş sayısını 2.49 adet olarak saptamıştır. Uygulanan azot dozları bitkide yaprak sayısını ve sap çapını artırırken, yaprak/sap oranını düşürmüştür. Bitkide yaprak sayısı 16 kg/da azot uygulamasında en fazla (8.00 adet) belirlenirken, aynı azot dozunda en düşük yaprak/sap oranı (0.37) tespit edilmiştir. Sap çapı (1.20 cm) iki çeşitte de 16 kg/da azot dozunda en fazladır. Greengo çeşidinin en yüksek yaprak/sap oranı (0.58) ve bitkide yaprak sayısına (7.53 adet) sahip olduğu bulunmuştur. Araştırmada azot dozu artışıyla sap çapı ve yaprak sayısı artarken, yaprak/sap oranının düşmesi biçimin yapıldığı vejetatif büyümenin hızlı olduğu genç dönemde fotosentez ürünü olarak daha sonraki büyümede kullanılabilecek olan yapısal olmayan karbonhidratların saptardaki birikiminden kaynaklanmış olabileceği söylenebilir. Azot dozu artışıyla, çalışmada saptanan yapısal karbonhidratların (ham selüloz, ADF ve NDF) oranlarının düşüklüğü bunu desteklemektedir. Kardeş sayısı değerleri, Yüksel [19]' in belirlediği değerlerden düşük bulunurken, Başaran [20]'ın sonuçlarından yüksektir. Medina Lucia ve ark. [21] ile Turgut ve ark. [22] farklı azot dozu uygulamalarının bitkide yaprak sayısını etkilemediğini belirlemişlerdir. Aslan [23] sorgum x sudan otu melez çeşitlerinde yaprak sayısını 9.39-9.63 adet olarak tespit etmiştir. Acar ve Yıldırım [24] Konya koşullarında yürüttükleri araştırmada, bitkide yaprak sayısını 7.80 adet belirlerlerken; Acar ve ark. [25] yaprak sayısını 8.99 adet, yaprak/sap oranını 0.337 olarak saptamışlardır. Güneş ve Acar [26] yaprak sayısını 8.46-11.06 adet arasında değiştiğini bulurlarken; Yüksel [19] farklı azot dozu uygulamalarının verim ve kalite ölçütleri üzerine etkisini incelediği araştırmada yaprak sayısını 9.20 adet olarak belirlemiştir. Miko ve Manga [27] bitkide yaprak sayısının 12.30-26.00 adet arasında değiştiğini ifade ederlerken; Başaran [20] bitkide yaprak sayısını 11.40 adet tespit etmiş; Özkurt [28] yaprak sayısını ortalama 8.40 adet olarak belirlemiştir. Baytekin ve ark. [29] dekara 10 kg saf azot uygulamasında silajlık sorgumun yaprak/sap oranını 0.239 olarak tespit etmişlerdir. Manga ve ark. [30] sorgum x sudan otu melez çeşitlerinde sap çapının 2 cm'den 4-5 cm'ye kadar değişebileceğini söylerlerken, İptaş ve Yılmaz [31] sap çapını 1.70 cm olarak saptamışlardır. Yaprak sayısına ait sonuçlar, Medina Lucia ve ark. [21] ile Turgut ve ark. [22]'nin sonuçlarından farklıyken; Miko ve Manga [27]'nin buldukları değerlerden düşük, diğer araştırmacıların saptadıkları bulgular ile benzerlik göstermiştir. Yaprak/sap oranı değerleri Baytekin ve ark. [29] ile Acar ve ark. [25]'nin sonuçlarından yüksektir.

Azot dozlarının artışıyla toplam yeşil ve kuru ot verimleri ile ham protein oranı ve ham protein verimi de artmış, ham selüloz, ADF ve NDF oranları ise düşmüştür ($P<0.01$). En yüksek toplam yeşil (13618.40 kg/da) ve kuru ot verimi (4542.30 kg/da) ile ham protein verimi (637.42 kg/da) Sugar Graze II çeşidinde 16 kg/da azot uygulamasından elde edilmiştir. Aynı azot dozu uygulamasında, her iki sorgum x sudan otu melez çeşidinde en düşük ham selüloz (% 28.03-29.20) ve NDF (% 57.27) oranları tespit edilmiştir. Ham protein ile ADF oranları çeşit ve çeşit x azot dozu interaksyonundan etkilenmezken; azot dozu uygulamalarından etkilenmiştir. En yüksek ham protein oranı (% 14.08) ve en düşük ADF oranı (% 29.23) 16 kg/da azot dozu uygulamasında saptanmıştır.

Tablo 3. Farklı azot dozu uygulamalarının iki farklı sorgum x sudan otu melez çeşidinin bazı morfolojik ve tarımsal özelliklerine etkisi

Karakterler	Çeşitler	Azot Dozları				Ortalama	
		Kontrol (0 kg/da)	4 kg/da	8 kg/da	12 kg/da		16 kg/da
Bitkide kardeş sayısı	Greengo	3.93	4.10	3.93	4.03	4.07	4.01
	Sugar Graze II	3.93	4.00	4.03	3.97	4.00	3.99
	<i>Ortalama</i>	3.93	4.05	3.98	4.00	4.03	4.00
EKÖF (En Küçük Önemli Fark)		Ö.D.					
Bitkide yaprak sayısı	Greengo	7.00	7.00	7.33	6.67	8.67	7.53a
	Sugar Graze II	6.00	6.33	7.33	7.00	7.33	6.80b
	<i>Ortalama</i>	6.50c	6.67c	7.33b	7.33b	8.00a	7.17
EKÖF		Çeşit (Ç): 0.413** Azot Dozu (AD): 0.284** Ç x AD: Ö.D.					
Yaprak/sap oranı	Greengo	0.67	0.77	0.54	0.56	0.37	0.58a
	Sugar Graze II	0.50	0.58	0.35	0.30	0.37	0.42b
	<i>Ortalama</i>	0.58b	0.67a	0.45c	0.43c	0.37d	0.50
EKÖF		Ç: 0.137** AD: 0.085** Ç x AD: Ö.D.					
Sap çapı (cm)	Greengo	0.83f	0.93e	1.07d	1.17b	1.20a	1.04
	Sugar Graze II	0.80g	1.07d	1.07d	1.10c	1.20a	1.05
	<i>Ortalama</i>	0.82e	1.00d	1.07c	1.13b	1.20a	1.045
EKÖF		Ç: Ö.D. AD: 0.052** Ç x AD: 0.027*					
Yeşil ot verimi (kg/da)	Greengo	1585.60j	6387.10h	10174.10e	12347.00b	11489.90c	8396.74b
	Sugar Graze II	3172.20i	7359.90g	9921.20f	11192.70d	13618.40a	9052.88a
	<i>Ortalama</i>	2378.90e	6873.50d	10047.65c	11769.85b	12554.15a	8724.81
EKÖF		Ç: 411.777** AD: 314.333** Ç x AD: 231.174**					
Kuru ot verimi (kg/da)	Greengo	528.70h	2128.80f	3391.00d	4115.20b	3830.30c	2798.80b
	Sugar Graze II	1059.10g	2452.70e	3310.20d	3735.70c	4542.30a	3020.00a
	<i>Ortalama</i>	793.90e	2290.75d	3350.60c	3925.45b	4186.30a	2909.40
EKÖF		Ç: 120.217** AD: 173.669** Ç x AD: 100.887**					
Ham protein oranı (%)	Greengo	11.00	12.07	12.40	13.20	14.13	12.56
	Sugar Graze II	11.33	12.17	12.57	13.50	14.03	12.72
	<i>Ortalama</i>	11.17e	12.12d	12.48c	13.35b	14.08a	12.64
EKÖF		Ç: Ö.D. AD: 0.078** Ç x AD: Ö.D.					
Ham protein verimi (kg/da)	Greengo	58.16f	256.88d	420.48c	543.21b	541.34b	455.02
	Sugar Graze II	120.03e	298.42d	415.99c	504.32b	637.42a	494.04
	<i>Ortalama</i>	89.09e	277.65d	418.24c	523.76b	589.38a	474.53
EKÖF		Ç: Ö.D. AD: 68.998** Ç x AD: 70.111*					
Ham selüloz oranı (%)	Greengo	31.73a	30.57c	30.13cd	29.83d	29.20e	30.29
	Sugar Graze II	32.03a	31.53b	30.80c	29.53de	28.03e	30.39
	<i>Ortalama</i>	31.83a	31.05b	30.47c	29.68c	28.62d	30.34
EKÖF		Ç: Ö.D. AD: 0.541** Ç x AD: 0.497**					
ADF oranı (%)	Greengo	35.87	35.07	33.77	31.40	29.33	33.09
	Sugar Graze II	36.77	35.07	33.30	31.30	29.13	33.11
	<i>Ortalama</i>	36.32a	35.07b	33.53c	31.35d	29.23e	33.10
EKÖF		Ç: Ö.D. AD: 0.782** Ç x AD: Ö.D.					
NDF oranı (%)	Greengo	64.70b	63.37c	61.30e	59.17g	57.27h	61.16b
	Sugar Graze II	65.53a	64.17b	62.33d	59.73f	57.27h	61.81a
	<i>Ortalama</i>	65.12a	63.77b	61.82c	59.45d	57.27e	61.48
EKÖF		Ç: 0.533** AD: 0.961** Ç x AD: 0.657**					

Ö.D.: Önemli Değil (P>0.05, 0.01), *: P<0.05, **: P<0.01

Bitki hücrelerindeki karbon (C) içeren maddelerle birleşen azot klorofilin yapıtaşı olup fotosentez gibi fizyolojik olaylarda görev almakta; amidler, aminoasitler, flavonoidler, vitaminler ve diğer organik maddeleri meydana getirerek bitki büyüme ve gelişiminde de önemli bir makro elementtir. Ayrıca, yapılan azotlu gübrelemeyle bitkide daha fazla protein birikimi sağlandığı da bilinmektedir. Çeşit, biçim sıklığı ve yüksekliği ile toprak ve iklim özellikleri sorgum tür ve melezlerinde uygulanacak azot dozu ve uygulama şekliyle yakından ilgilidir [32]. Sugar Graze II çeşidine uygulanan 16 kg/da azot dozunun yeşil ve kuru ot verimi ile bazı kalite özellikleri bakımından en uygun doz olduğunun ortaya çıkması, yörede bu çeşidin üç biçimli sistemde azot ihtiyacının ne olduğunu göstermesi bakımından önemlidir. Sorgum x sudan otu melezinde azotlu gübreleme ve biçim yüksekliğinin verim ve kaliteye etkisini araştıran İptaş ve ark. [32], dört farklı azot dozu uygulamışlar ve bitki 100-120 cm boya geldiğinde farklı biçim yüksekliklerinde yılda üç biçim yapmışlardır. Araştırmacılar, bitkinin yeşil ve kuru madde verimlerini sırasıyla 11558.7-14860.9 kg/da ve 2296.0-2879.8 kg/da olarak tespit etmişlerdir. Yılmaz ve Sağlamtimur [33] ile Sarkar [34] en yüksek yeşil ot verimini 15 kg/da azot dozu uygulamasında belirlerken, Arslangiray [35] 18 kg/da azot dozu uygulamasında yeşil ot verimini en fazla

bulmuştur. Araştırmadan elde edilen yeşil ve kuru ot verimlerine ait sonuçlar daha önce yapılan bu çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Uzun ve Çiğdem [36], Carmi ve ark. [37] ve Nazlı [38] sorgum ve sorgum x sudan otu melez çeşitlerinin NDF oranlarının % 61.24-68.30 arasında değiştiğini saptamışlardır. Yüksel [19], sorgum x sudan otu melez çeşidinde farklı azot dozu uygulamalarının ham selüloz oranına etkisinin önemsiz olduğunu belirtirken, Chattha ve ark. [39] sorgumda % 20.10-32.00 ham selüloz tespit etmişlerdir. Torrecillas ve ark. [40] sorgumda ham protein oranını oldukça düşük (% 4.00-4.20) bulmuşlardır. Khaleduzzaman ve ark. [41], Tosunoğlu ve Mut [42] ve Mut ve ark. [10] kuru ot verimlerini sırasıyla 536-589 kg/da, 609,50-1183 kg/da ve 767-831 kg/da olarak saptamışlardır. Sorgum ve sorgum x sudan otu melez çeşitlerinin ADF oranlarını Nazlı ve ark. [43] ve Özkurt [28] sırasıyla % 34.00 ve % 40.69 40.10 olarak bildirmektedirler.

IV. SONUÇLAR

Edirne ili ve benzer iklim özelliklerine sahip bölgelerin farklı lokasyonlarında daha uzun süreli çalışmaların yapılmasının gerektiği ve yüksek verim ile kalite özellikleri bakımından Sugar Graze II çeşidinin dekara 16 kg saf azot uygulaması yapılarak ana ürün şeklinde yetiştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu makale 2019 yılında Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından kabul edilmiş olan Murat ATALAY'ın Yüksek Lisans tezinin bir bölümüdür.

KAYNAKLAR

- [1] Yüksel, A. N. (2013). *Orman ve Su Kaynakları, Özel İhtisas Komisyonu Raporu*. <https://www.trakyaka.org.tr/upload/Domain/trakyaka/28062013NJ-TY.pdf>, (21.07.2017).
- [2] Türkiye İstatistik Kurumu. (2017). *2017 Bölgesel İstatistikler*. <https://biruni.tuik.gov.tr/bolgeselstatistik/tabloOlustur.do>.
- [3] Meşe, A., Gülümser, E. & Mut, H. (2019). Bilecik ili yem bitkilerinin mevcut durumu. *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 6, 336-343.
- [4] Ateş, E., & Tekeli, A. S. (2017). Farklı taban gübresi uygulamalarının yem bezelyesi (*Pisum arvense* L.)'nin ot verimi ve kalitesine etkisi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20, 13-16.
- [5] Skerman, P. J., & Riveros, F. (2017). *Tropical Grasses*. FAO Plant Production and Protection Series No. 23, Rome.
- [6] Avcıoğlu, R., Geren, H., & Kavut, Y. T. (2009). *Sorgum Sudan otu Sorgum x Sudan otu Melezi*. Yem bitkileri Buğdaygil ve Diğer familyalardan Yem Bitkileri, Ed: Avcıoğlu, R., Hatipoğlu, R. & Karadağ, Y., T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Yayınları, İzmir, 680-695.
- [7] Grubinger, V. (2017). *Sorghum-Sudangrass: A Vigorous Cover Crop*. University of Vermont Extension, Burlington, New Jersey, ABD.
- [8] Tekeli, A. S. (1988). *Buğdaygil Yem Bitkileri*. T.Ü Tekirdağ Ziraat Fakültesi Yayın No: 64, Ders Notu: 49, 45 s, Tekirdağ.
- [9] Ateş, E. (2012). Sorgum x sudanotu melezi (*Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf). *Hasad Hayvancılık*, 28, 70-71.
- [10] Mut, H., Gulumser, E., Dogrusoz, M. C., & Basaran, U. (2017). Effect of different nitrogen levels on hay yield and some quality traits of sudan grass and sorghum x Sudan grass hybrids. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 17, 269-278.

- [11] Acar, R. (1995). *Sulu şartlarda ikinci ürün olarak bazı baklagil yem bitkileri ve tahıl karışımlarının yetiştirilme imkanları*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [12] Wright, B., Wheeler, T., & McKinley, J. (2016). *Forage Sorghum-Sudan Grass*. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Stone Road West, Guelph, Ontario, Canada.
- [13] Ates, E. (2011). Determination of forage yield and its components in blue melilot (*Melilotus caerulea* (L.) Desr.) grown in the western region of Turkey. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 45, 299-302.
- [14] Tekeli, A. S., & Ateş, E. (2003). Determination of some agricultural and botanical characters of some annual clovers (*Trifolium* sp.). *Bulgarian Journal Agricultural Science*, 9, 505-508.
- [15] Ates, E., & Tenikecier, H.S.(2019). Hydrocyanic acid content, forage yield and some quality features of two sorghum-Sudan grass hybrid cultivars under different nitrogen doses in Thrace, Turkey. *Current Trends in Natural Sciences*, 8, 55-62.
- [16] Association of Official Analytical Chemists. (1990). *Official Methods of Analysis*. 15th ed., Washington DC., USA.
- [17] Goering, H. K., & Van Soest, P. J. (1970). *Forage Fiber Analysis: Apparatus, Reagents, Procedures and Some Applications*. Agric. Handbook No. 379. ARC, USDA, Washington DC., USA.
- [18] Açıkgöz, N., İlker, E., & Gökçöl, A. (2004). *Biyolojik Araştırmaların Bilgisayarda Değerlendirilmeleri*. Ege Üniversitesi TOTEM Yayın No. 2, İzmir.
- [19] Yüksel, O. (2006). *Sorghum x sudanotu (Sorghum bicolor (L.) Moench x Sorghum sudanense (piper) Stapf.) melezinde farklı azot dozu uygulamalarının verim ve bazı kalite özelliklerine etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [20] Başaran, R. (2011). *Bartın'da sorgum (Sorghum bicolor (L.) Moench) çeşitlerinin ikinci ürün silajlık olarak yetiştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [21] Medina Lucia, B., Riquelme Villagran, E. O., & Valdez-Oyervidez, A. (1986). The effect of nitrogen and phosphorus fertilizer and population density on lowland fodder sorghum production under irrigation. *Herbage Abstract*, 56, 3789.
- [22] Turgut, I., Bilgili, U., & Açıkgöz, E. (2005). Production of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) increases with increased plant densities and nitrogen fertilizer levels. *Acta Agri. Scandinavica, Sec. B-Plant Soil Science*, 55, 236-240.
- [23] Aslan, H. (1998). *Tokat ekolojik şartlarında sorgum x sudanotu melezinde farklı sıra aralığında, ekim normu ve azot dozlarının verim ve bazı agronomik özelliklere etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- [24] Acar, R., & Yıldırım, A.İ. (2001). Farklı bitki sıklıklarının süpürge darısında (*Sorghum vulgare* var. *technicum* Jav.) ot verimi ve verim unsurları üzerine etkileri. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15, 128-133.
- [25] Acar, R., Akbudak, M. A., & Sade, B. (2002). Konya ekolojik şartlarında silajlık sorgum x sudanotu melezlerinin verimleri ile verimi etkileyen bazı özelliklerin belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16, 88-95.
- [26] Güneş, A., & Acar, R. (2005). Karaman ekolojik koşullarında silajlık sorgum x sudanotu melezinin ikinci ürün olarak yetiştirme imkanlarının belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19, 8-15.
- [27] Miko, S., & Manga, A. A. (2008). Effect of intra-spacing and nitrogen rates on growth and yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Production Agriculture and Technology*, 4, 66-73.

- [28] Özkurt, M. (2013). *Tokat ekolojik koşullarında ikinci ürün olarak yetiştirilebilecek silajlık sorgum (Sorghum bicolor (L.) Moench) çeşitlerinde farklı sıra aralıklarının bazı morfolojik ve tarımsal özellikleri üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- [29] Baytekin, H., Gül, İ., & Bengisu, G. (1995). Harran ovası sulu koşullarında ikinci ürün olarak yetiştirilen silaj sorgumunda farklı azot dozlarının verim ve bazı tarımsal karakterlere etkisi. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1, 212-226.
- [30] Manga, İ., Acar, Z., & Erden, İ. (1994). *Buğdaygil Yem Bitkileri*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ders Notu No. 6, Samsun.
- [31] İptaş, S., & Yılmaz, M. (1995). Silajlık sorgum ve sorgum x sudanotu melezlerinde farklı sıra aralıklarının bazı morfolojik ve tarımsal özelliklere etkisi üzerine bir araştırma. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12, 203-211.
- [32] İptaş, S., Brohi, A.R., & Aktaş, A. (2001). Sorgum x sudanotu melezinde (*Sorghum vulgare* Pers. x *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.) azotlu gübreleme ve biçim yüksekliğinin verim ve kaliteye etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 7, 69-74.
- [33] Yılmaz, Ş., & Sağlantimur, T. (1997). Amik ovası koşullarında II. ürün olarak yetiştirilen sorgum x sudanotu (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) melez çeşidinde azot gübrelemesinin ve sıra arası mesafenin ot verimine ve kalitesine etkisi üzerine bir araştırma. *MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2, 87-100.
- [34] Sarkar, B. (2000). *Effect of different doses of nitrogen fertilizer on growth, yield, chemical composition and degradability of zamboo grass*. MS Thesis, Bangladesh Agricultural University, Department of Animal Nutrition, Mymensingh.
- [35] Arslangiray, C. (1998). *Çukurova koşullarında ikinci ürün olarak yetiştirilen bazı tane sorgum (Sorghum bicolor L.) ve sorgum x sudanotu (Sorghum sudanense L.) melez çeşitlerinde azot gübrelemesinin dane ve hasıl verimine etkisi üzerinde araştırmalar*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [36] Uzun, F., & Çiğdem, İ. (2005). Yemlik kocadarı ve kocadarı-sudan otu melezleri. *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20, 66-72.
- [37] Carmi, A., Aharoni, Y., Edelstein, M., Umiel, N., Hagiladi, A., Yosef, E., Nikbachat, M., Zenou, A., & Miron, J. (2006). Effects of irrigation and plant density on yield, composition and in vitro digestibility of a new forage sorghum variety at two maturity stages. *Animal Feed Science and Technology*, 131, 121-133.
- [38] Nazlı, İ.R. (2011). *Sorghum x sudanotu melezi (Sorghum bicolor x Sorghum bicolor var. Sudanense) tarımında bazı organik atıkların kullanım olanakları*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [39] Chattha, M. U., Iqbal, A., Hassan, M. U., Chattha, M. B., Ishaque, W., Usman, M., Khan, S., Fayyaz, M. T., & Ullah, M.A. (2017). Forage yield and quality of sweet sorghum as influenced by sowing methods and harvesting times. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 13, 301-306.
- [40] Torrecillas, M., Cantamutto, M. A., & Bertoia, L. M. (2011). Head and stover contribution to digestible dry matter yield on grain and dual-purpose sorghum crop. *Australian Journal of Crop Science*, 5, 116-122.
- [41] Khaleduzzaman, A. B. M., Enamul Haq Hazary, M., Emdadul Haque, M., & Shafiqul Islam, M. (2013). Nitrogen and phosphorus fertilization for Jumbo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) forage production and evaluation by using near infrared reflectance spectroscopy. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4, 3576-3582.
- [42] Tosunoğlu, S., & Mut, H. (2015). Yozgat Şartlarında Ana ve İkinci Ürün Olarak Yetiştirilebilecek Sorgum, Sudan Otu Ve Sorgum Sudan Otu Melez Çeşitlerinin Belirlenmesi. *Türkiye 11. Tarla Bitkileri Kongresi*. 7-10 Eylül, Çanakkale, 246.

- [43] Nazlı, İ. R., İnal, İ., Kuşvuran, A., Sezer, C.M., & Tansı, V. (2013). Çukurova Koşullarında Bazı Sorgum x Sudanotu Melezi Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Türkiye 10. Tarla Bitkileri Kongresi*. 10-13 Eylül, Konya, 452.

Araştırma Makalesi - Research Article

Çinko-Demir Kaplı Elektrot Yüzeyindeki Poli(anilin-co-pirol) ve Poli(anilin-co-N-metilpirol) Kopolimerlerin Korozyon Performansı

Abdurrahman Akdağ^{1*}

Geliş / Received: 01/12/2019

Revize / Revised: 27/05/2020

Kabul / Accepted: 27/05/2020

ÖZ

Poli(anilin-co-pirol) (PANI-co-PPy) ve poli(anilin-co-N-metilpirol) (PANI-co-PNMP) kopolimer filmler ZnFe kaplı karbon çelik (KÇ/ZnFe) elektrot yüzeyine elektrokimyasal olarak sentezlenmiştir. ZnFe kaplama için galvanostatik yöntem, kopolimer kaplamalar için ise dönüşümlü voltametri yöntemi kullanılmıştır. PANI-co-PPy film 0.05 M anilin + 0.05 M pirol içeren 0.3 M okzalik asit çözeltisinde sentezlenmiştir. PANI-co-PNMP film ise 0.05 M anilin + 0.05 M N-metilpirol içeren 0.3 M okzalik asit çözeltisinde sentezlenmiştir. PANI-co-PPy ve PANI-co-PNMP kopolimerleri ile kaplı elektrotlar doğrusal taramalı voltametri, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve anodik polarizasyon teknikleriyle karakterize edilmiştir. Doğrusal taramalı voltametri sonuçları kopolimer kaplamaların altında ZnFe alaşımının bulunduğunu göstermiştir. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi bulguları PANI-co-PNMP kaplı KÇ/ZnFe (KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP) elektrodun polarizasyon direncinin (R_p) PANI-co-PPy kaplı KÇ/ZnFe (KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy) elektroda göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Anodik polarizasyon eğrileri en düşük akım ve en yüksek korozyon potansiyeline sahip elektrodun KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrot olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler- Kopolimer, Korozyon, Elektrokimyasal sentez, Anilin, Pirol

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ab.ak@hotmail.com (<https://orcid.org/000-0001-5292-8001>)

Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Sağlık Hizmetleri MYO, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye

Corrosion Performance of Poly(aniline-co-pyrrole) and Poly(aniline-co-N-methylpyrrole) Copolymers on Zinc-Iron Plated Electrode

ABSTRACT

Poly(aniline-co-pyrrole) (PANI-co-PPy) and poly(aniline-co-N-methylpyrrole) (PANI-co-PNMP) copolymer films were electrochemically synthesized on the ZnFe coated carbon steel (KC/ZnFe) electrode surface. Galvanostatic method is used for ZnFe coating and cyclic voltammetry method is used for copolymer coatings. PANI-co-PPy film was synthesized in 0.30 M oxalic acid solution containing 0.05 M aniline + 0.05 M pyrrole. PANI-co-PNMP film was synthesized in 0.30 M oxalic acid solution containing 0.05 M aniline + 0.05 M N-methylpyrrole. Electrodes with coated PANI-co-PPy and PANI-co-PNMP copolymers were characterized by linear sweep voltammetry, electrochemical impedance spectroscopy and anodic polarization techniques. The linear sweep voltammetry results indicated that the ZnFe alloy was under the copolymer coatings. The electrochemical impedance spectroscopy findings revealed that the polarization resistance (R_p) of the PANI-co-PNMP coated KC/ZnFe (KC/ZnFe/PANI-co-PNMP) electrode was higher than that of the PANI-co-PPy coated KC/ZnFe (KC/ZnFe/PANI-co-PPy) electrode. The anodic polarization curves showed that the electrode with the lowest current and highest corrosion potential is the KC/ZnFe/PANI-co-PNMP electrode.

Keywords- Copolymer, Corrosion, Electrochemical synthesis, Aniline, Pyrrole

I. GİRİŞ

Çelik endüstride en çok kullanılan malzemenin başında gelmektedir. Ancak çeliğin korozyona uğraması ve korozyonun da yüksek ekonomik maliyete sebep olması bu sorunun çözümü için farklı araştırmalara ihtiyaç doğurmuştur. İletkenlik özelliklerinin keşfedilmesiyle birçok alanda kullanılmaya başlanan iletken polimerler mekanik dayanımları, stabiliteyi, kimyasal ve elektrokimyasal olarak sentezlenebilmeleri gibi bazı özelliklerinden dolayı antikorozyif uygulamalar için ilgi çekmişlerdir [1]. Polianilin, polipirol ve türevleri bu amaçla en çok kullanılan iletken polimerlerdendir. İletken polimerler, monomer içeren elektrolit çözeltilerden uygun potansiyel aralığı ve tarama hızı gibi parametreler belirlenerek çelik [2–6], alüminyum [7,8] ve bakır [9,10] gibi elektrotların yüzeylerine elektrokimyasal olarak sentezlenebilmektedirler. Bu yöntemle homopolimerler sentezlenebildiği gibi kopolimerler [11–14] de sentezlenebilir.

Farklı monomerleri içeren çözeltilerden elektrokimyasal olarak sentezlenen kopolimerler homopolimerlerden daha iyi antikorozyif davranışlar sergileyebilmektedirler. Pawar ve ark., [9] bakır elektrot yüzeyine dönüşümlü voltametri yöntemiyle sentezledikleri poli(o-anisidin-co-o-toluidin) kopolimerinin korozyona karşı ilgili homopolimerlerden daha iyi koruyucu etki gösterdiğini belirtmişlerdir. Yalçinkaya ve ark. [12] poli(pirol-co-o-anisidin) kopolimerini okzalik asit çözeltisinde yumuşak çelik elektrot yüzeyine sentezlemişler ve 6:4 (pirol:o-anisidin) oranında sentezledikleri kopolimerin poli(o-anisidin) homopolimerinden daha iyi korozyon performansı gösterdiğini belirtmişlerdir.

İletken polimerler yalın elektrot yüzeyine sentezlenebildiği gibi metal veya metal alaşımları ile kaplanmış elektrotların yüzeylerine de sentezlenebilirler [15–16]. Yalın elektrot yüzeyine iletken polimerlerin kaplanması ile ilgili olarak çok sayıda çalışma mevcuttur. Oysa metal veya metal alaşımları ile kaplı elektrotların yüzeyine iletken polimerlerin kaplanması ile ilgili çalışmalar oldukça azdır. Yalın elektrot yüzeylerine metalik kaplamalar yalın elektrodun korozyonunu önlemede önemli rol oynamakla birlikte bu metalik kaplama yüzeylerinin iletken polimerlerin kaplanmasıyla korozyona karşı koruyuculuğun daha da artması mümkün olabilmektedir [16–17]. Bu nedenle bu çalışmada karbon çeliğinin önce ZnFe alaşımı ile kaplanması daha sonra kaplı olan bu yüzeye PANI-co-PPy ve PANI-co-PNMP kopolimer filmlerin sentezlenmesi ve sentezlenen kopolimer filmlerin ZnFe kaplı karbon çeliğinin korozyonuna olan etkisinin incelenerek korozyon performanslarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

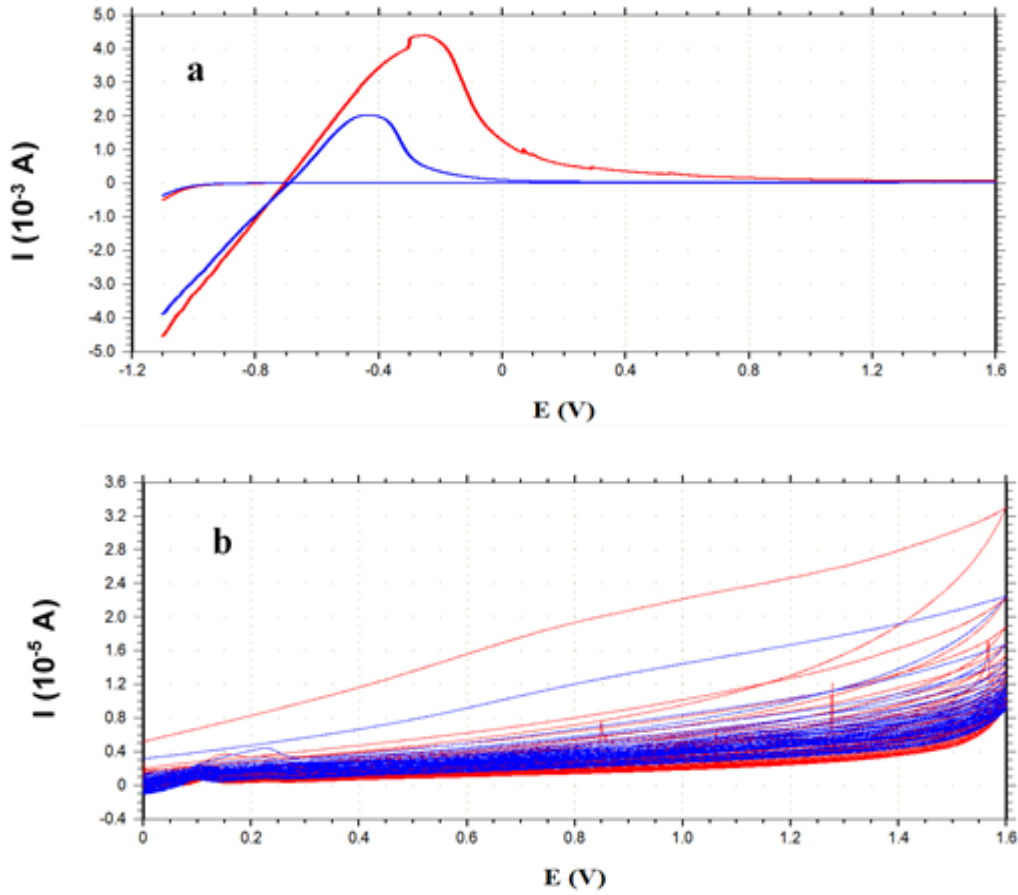
II. MATERYAL ve YÖNTEM

PANI-co-PPy ve PANI-co-PNMP filmlerin elektropolimerizasyonu dönüşümlü voltametri ile üç elektrot tekniği kullanılarak tek hücrede gerçekleştirilmiştir. Karşı elektrot olarak yüzey alanı 0.18 cm² olan platin levha, referans elektrot olarak da Ag/AgCl (3 M, KCl) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yüzey alanı 0.05 cm² olan silindirik karbon çelik elektrotların elementel bileşimi kütlece % 0.0561 C, % 0.4498 Mn, % 0.0103 P, % 0.0036 S, % 0.1409 Si ve % 99.3394 Fe'dir. Çalışma elektrot yüzeyleri 1200 grid zımpara kağıdında parlatıldıktan sonra önce 1/1 etanol/aseton karışımı daha sonra da distile su ile yıkanmıştır. Elektrokimyasal ölçümler CHI 660E elektrokimyasal analiz cihazı kullanılarak yapılmıştır. ZnFe kaplama 300 saniye boyunca 3 mA sabit akımda pH⁷ 5 olan sülfat banyosunda (kütlece % 23.14 ZnSO₄, % 10.93 FeSO₄, % 24.97 Na₃C₆H₅O, % 14.98 H₃BO₃ ve % 24.97 glisin) yapılmıştır [18]. Kaplı elektrotların karakterizasyonları % 3.5 NaCl çözeltisinde elektrokimyasal empedans spektroskopisi, anodik polarizasyon eğrileri ve doğrusal taramalı voltametri yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. AC empedans ölçümleri elektrotların korozyif çözeltilere bırakılmalarından 2, 96 ve 168 saat sonra açık devre potansiyellerinde 10⁵ Hz ile 10⁻³ Hz frekans aralığında 7 mV genlik kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Anodik polarizasyon eğrileri ise 168 saat sonra ölçülen denge potansiyelinden başlanarak anodik yönde 1.80 V'ye kadar 4 mVs⁻¹ tarama hızı ile elde edilmiştir. Doğrusal taramalı voltametri ölçümleri ise 0.05 M EDTA içeren 0.50 M Na₂SO₄ çözeltisinde -1.20 ile 1.80 V potansiyel aralığında 5 mV/s⁻¹ tarama hızında gerçekleştirilmiştir.

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

ZnFe kaplı KÇ elektrotların yüzeyine dönüşümlü voltametri yöntemiyle PANI-co-PPy ve PANI-co-PNMP kopolimerleri 100 mVs⁻¹ tarama hızında sentezlenmiş ve elde edilen dönüşümlü voltamogram eğrileri Şekil 1'de verilmiştir. Sentez iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada -1.10 ile 1.60 V potansiyel

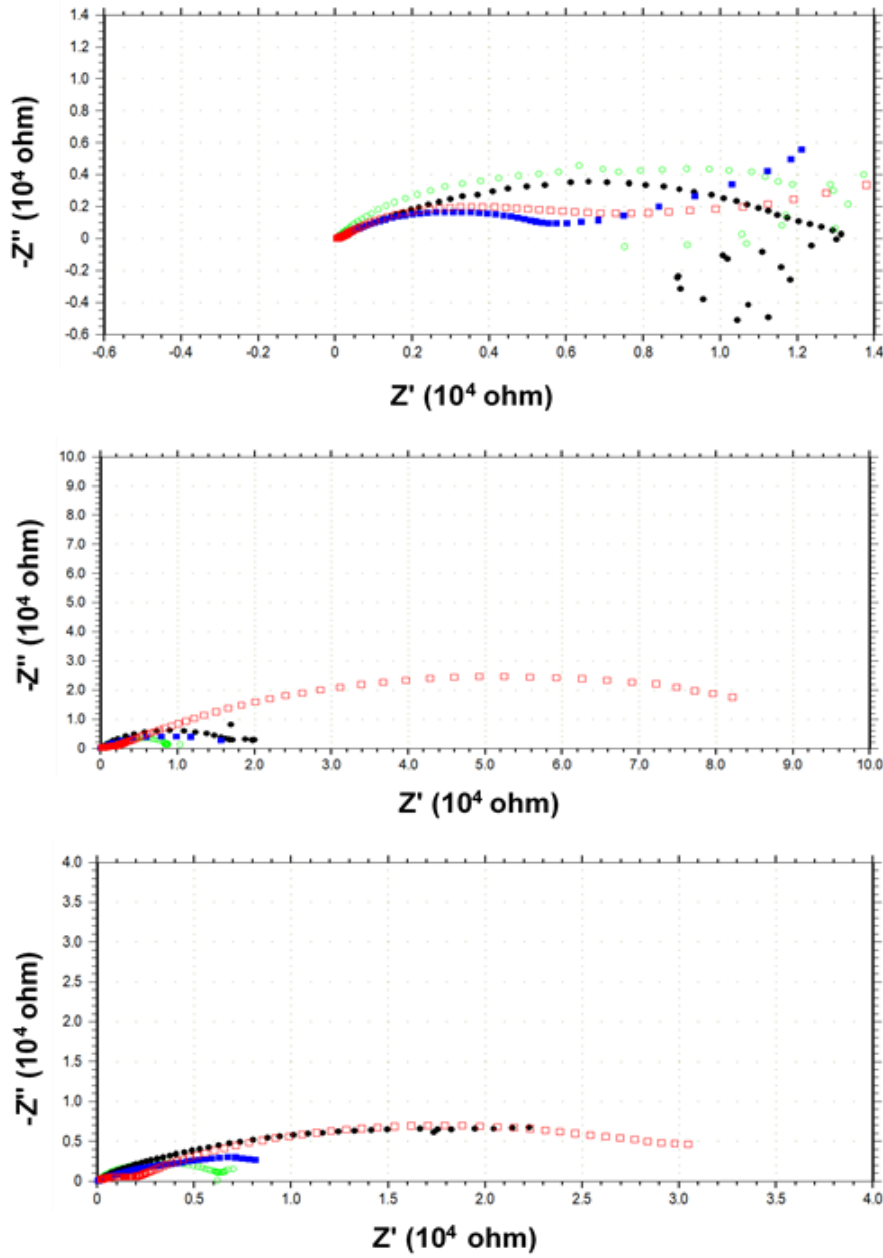
aralığında iki döngü alınarak yüzey pasifleşmesi sağlanmış daha sonra film gelişimi için potansiyel aralığı daraltılarak 50 segment alınmıştır. Şekil 1'de anodik taramada -0.40 V dolaylarındaki pik Oksidasyon/pasivasyon piki olup elektrotların yüzeylerindeki çinko ve demirin çözünmesini ve oluşan çinko ve demir iyonlarının elektrolit çözeltideki okzalik asit iyonlarıyla birleşmesi sonucunda yüzeyin pasifleşmesini ifade etmektedir [17]. Hem oksidasyon/pasivasyon piklerinde hem de film gelişim eğrilerinde anilin + pirol içeren ortamdaki akım değerlerinin anilin + N-metilpirol içeren ortama göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Film gelişim eğrilerindeki artan segment sayısı ile her iki ortamda da akım değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum elektrotların yüzeylerinde kopolimer filmlerin oluşup yüzeyleri kapattığına işaret etmektedir [19].



Şekil 1. KÇ/ZnFe elektrodun 0.05 M anilin + 0.05 M pirol + 0.3 M okzalik asit (—) ve 0.05 M anilin + 0.05 M N-metilpirol + 0.3 M okzalik asit (—) çözeltilerindeki birinci döngü (a) ve film gelişim eğrileri (b).

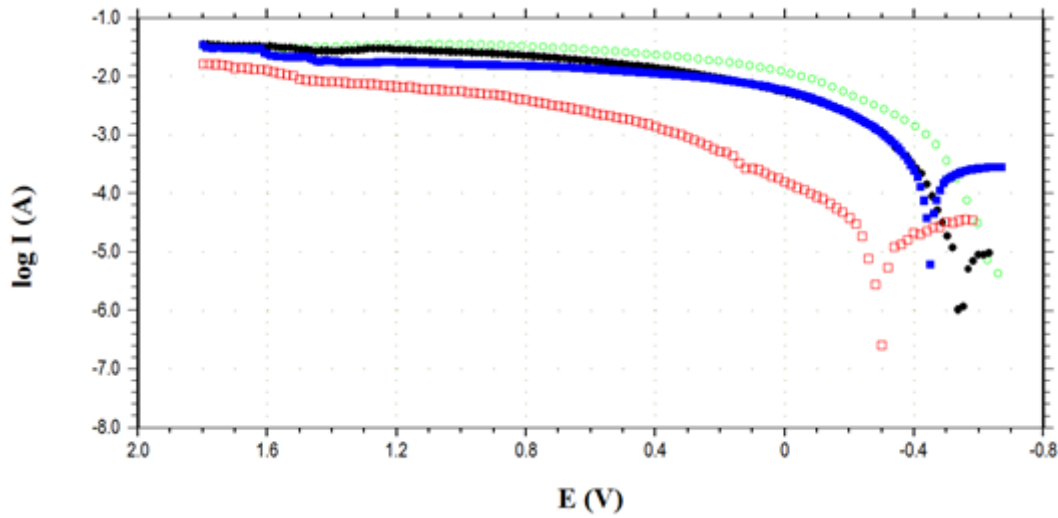
KÇ, KÇ/ZnFe, KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy ve KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrotların % 3.5'lik NaCl çözeltisinde 2, 96 ve 168 saat sonunda elektrokimyasal empedans spektroskopisi ölçümlerinden elde edilen Nyquist eğrileri Şekil 2'de verilmiştir. 2 saatlik ölçüm sonundaki KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy ile KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrotların Nyquist eğrilerindeki kısmi yarım daireler yük transfer direnci, oksit tabaka direnci ve alışımlı kopolimer film dirençlerinin toplamına karşılık gelen [19] polarizasyon dirençleri (R_p) olup birbirine yakın değerlerdedir. 96 saat sonunda R_p değerlerinden genel bir artış görülmüştür. KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy elektrodun R_p değerindeki artış çok fazla olmayıp KÇ/ZnFe elektroduna yakınlıkta KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrodun R_p değerindeki artış oldukça büyüktür. KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrodun R_p değeri 95 000 ohm civarında olup KÇ/ZnFe ve KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy elektrotların R_p değerlerinden yaklaşık 5 kat daha büyüktür. Elektrotların yüzeyinde zamanla oksit tabakaların oluşması R_p değerlerinin artmasını sağlamaktadır. KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrodun R_p değerindeki oldukça yüksek orandaki artış ise oksit tabakaların

oluşmasıyla beraber PANI-co-PNMP kopolimer filmin indirgenerek yalıtkan bir yapıya bürünmesiyle de ilişkilidir. 168 saat sonunda uzun süre korozif ortamda beklemenin etkisiyle kopolimer kaplı elektrotların R_p değerlerinde azalma görülmüştür. Bu durum yüzeydeki oksit tabakaların ilerleyen zamanlarda kısmen bozulduğunu ve kopolimer filmlerin etkinliğinin zamanla azaldığını göstermektedir. KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrodun R_p değerinde azalma görülse de bu değer KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy elektroduna göre daha yüksektir. Nyquist eğrilerinden elde edilen bu bulgular KÇ/ZnFe elektrot yüzeyindeki PANI-co-PNMP kopolimerinin PANI-co-PPy kopolimerine göre daha etkin olduğunu göstermektedir.



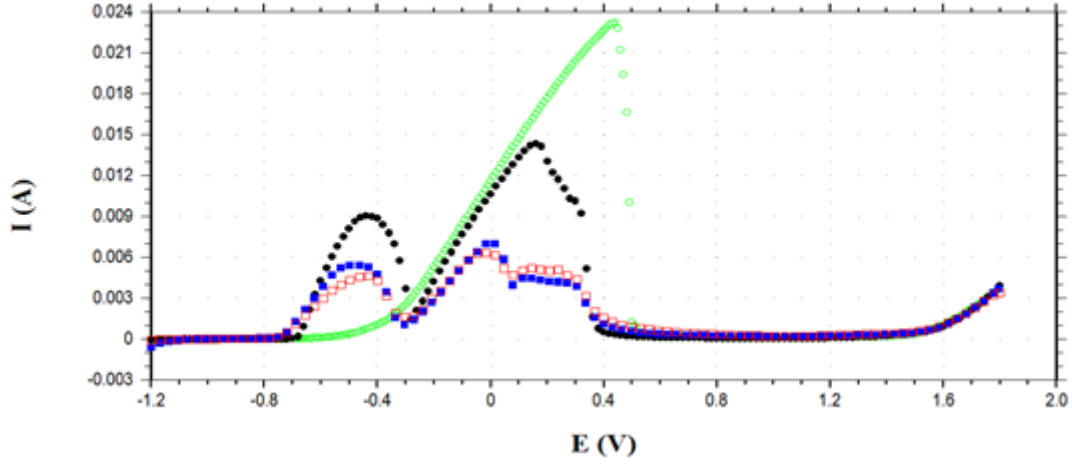
Şekil 2. KÇ (○), KÇ/ZnFe (●), KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy (■) ve KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP (□) elektrotların % 3.5 NaCl çözeltisinde 2, 96 ve 168 saat sonunda elde edilen Nyquist eğrileri.

Şekil 3’de KÇ, KÇ/ZnFe, KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy ve KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrotların % 3.5’lik NaCl çözeltisinde 168 saat sonundaki anodik polarizasyon eğrileri verilmiştir. Bu eğrilerde KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrodun akım değerlerinin KÇ, KÇ/ZnFe ve KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy elektrotlarına göre oldukça düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Bu durum PANI-co-PNMP filmin bariyer etkisinin iyi olduğunu göstermektedir. KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy ve KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrotların korozyon potansiyellerinin ise sırayla -0.452 V ve -0.301 V dolaylarında olduğu görülmüştür. Her iki elektrodun korozyon potansiyeli KÇ ve KÇ/ZnFe elektrotlarına göre daha pozitif olmakla birlikte KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrottaki fark çok barizdir. Bu bariz fark KÇ/ZnFe elektrot yüzeyinde sentezlenen PANI-co-PNMP kopolimer filmin korozyona karşı dayanıklı olduğuna işaret etmektedir. PANI-co-PPy kopolimeri ile kıyaslandığında PANI-co-PNMP kopolimerinin dayanımı daha iyidir. KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrodun korozyon akımının KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy elektroda göre düşük olması da bu düşüncüyü destekler niteliktedir.



Şekil 3. KÇ (○), KÇ/ZnFe (●), KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy (■) ve KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP (□) elektrotların % 3.5 NaCl çözeltisinde 168 saat sonunda elde edilen anodik polarizasyon eğrileri

KÇ, KÇ/ZnFe, KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy ve KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrotların 0.50 M Na₂SO₄ + 0.05 M EDTA çözeltisinde elde edilen doğrusal taramalı voltamogram eğrileri Şekil 4’de verilmiştir. -1.20 ile 0.30 V arasında KÇ/ZnFe, KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy ve KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrotları için pik gözlenirken KÇ elektrot için herhangi bir pik gözlenmemiştir. KÇ/ZnFe, KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy ve KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrotları için gözlenen bu pik elektrotların yüzeyindeki çinkonun çözünüp EDTA ile kompleks oluşturduğunu göstermektedir [18]. Bu pikin KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy ve KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrotları için görülüp KÇ elektrodu için görülmemesi kopolimer filmlerin altında alaşım tabakaların varlığına işaret etmektedir [17]. -0.50 V ile 0.50 V arasındaki pikler demirin çözünüp EDTA ile kompleks oluşturmasına karşılık gelen piklerdir. -1.20 ile 1.80 V arasında görülen piklerde KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrodun pik akım değerlerinin diğer elektrotlara nispeten daha düşük olduğu görülmektedir. Kaplı elektrotlarda pik akım değerlerinin düşüklüğü elektrot yüzeyindeki tabakanın bariyer özelliğinin iyi olması ile ilişkilidir [18].



Şekil 4. KÇ (○), KÇ/ZnFe (●), KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy (■) ve KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP (□) elektrotların 0.05 M EDTA içeren 0.5 M Na₂SO₄ çözeltisinde elde edilen doğrusal taramalı voltametri eğrileri.

IV. SONUÇLAR

KÇ/ZnFe elektrot yüzeyine 0.3 M okzalik asit çözeltisinde PANI-co-PPy ve PANI-co-PNMP kopolimer filmlerin sentezlenebildiği görülmüştür. Anodik polarizasyon eğrilerinden KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrodun diğer elektrotlara göre daha düşük akım değerleri ve yüksek korozyon potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. Empedans ölçümlerinden KÇ/ZnFe/PANI-co-PNMP elektrodun polarizasyon direncinin KÇ/ZnFe ve KÇ/ZnFe/PANI-co-PPy elektrotlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. KÇ/ZnFe elektrot yüzeyine sentezlenen PANI-co-PNMP kopolimerinin korozyon performansının PANI-co-PPy kopolimerine göre daha iyi olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ates, M., Kalender, O., Topkaya, E., Kamer, L. (2015). Polyaniline and polypyrrole/TiO₂ nanocomposite coatings on Al1050: electrosynthesis, characterization and their corrosion protection ability in saltwater media. *Iran. Polym. J.* 24, 607–619.
- [2] Su, W., Iroh, J.O. (2000). Electrodeposition mechanism, adhesion and corrosion performance of polypyrrole and poly(N-methylpyrrole) coatings on steel substrates. *Synth. Met.* 114, 225–234.
- [3] Ocón, P., Cristobal, A.B., Herrasti, P., Fatas, E. (2005). Corrosion performance of conducting polymer coatings applied on mild steel. *Corros. Sci.* 47, 649–662.
- [4] González, M.B., Saidman, S.B., (2011). Electrodeposition of polypyrrole on 316L stainless steel for corrosion prevention. *Corros. Sci.* 53, 276–282.
- [5] Özyılmaz, A.T., Aydın, A.E., Akdag, A. (2014). Anticorrosive properties with catalytic behaviour of primer PANI film and top PPy coating synthesised in presence of novel norephedrine based amino alcohol compound. *Trans. Inst. Met. Finish.* 92, 34-40.
- [6] Zhang, Y., Shao, Y., Liu, X., Shi, C., Wang, Y., Meng, G., Zeng, X., Yang, Y. (2017). A study on corrosion protection of different polyaniline coatings for mild steel. *Prog. Org. Coatings.* 111, 240–247.

- [7] Martins, N.C.T., Moura e Silva, T., Montemor, M.F., Fernandes, J.C.S., Ferreira, M.G.S. (2008). Electrodeposition and characterization of polypyrrole films on aluminium alloy 6061-T6. *Electrochim. Acta.* 53, 4754–4763.
- [8] Rizzi, M., Trueba, M., Trasatti, S.P. (2011). Polypyrrole films on Al alloys: The role of structural changes on protection performance. *Synth. Met.* 161, 23–31.
- [9] Pawar, P., Gaikwad, A.B., Patil, P.P. (2007). Corrosion protection aspects of electrochemically synthesized poly(o-anisidine-co-o-toluidine) coatings on copper. *Electrochim. Acta.* 52, 5958–5967.
- [10] Patil, S., Sainkar, S.R., Patil, P.P. (2004). Poly(o-anisidine) coatings on copper: Synthesis, characterization and evaluation of corrosion protection performance. *Appl. Surf. Sci.* 225, 204–216.
- [11] Ozyilmaz, A.T., Akdag, A. (2013). Corrosion protection provided by homo- and copolymer films synthesised in various oxalic and sulphamic acid electrolyte mixtures. *Trans. Inst. Met. Finish.* 91, 44–51.
- [12] Yalçinkaya, S., Tüken, T., Yazıcı, B., Erbil, M. (2008). Electrochemical synthesis and corrosion performance of poly(pyrrole-co-o-anisidine). *Prog. Org. Coatings.* 62, 236–244.
- [13] Breslin, C.B., Fenelon, A.M., Conroy, K.G. (2005). Surface engineering: corrosion protection using conducting polymers. *Mater. Des.* 26, 233–237.
- [14] Mert, B.D., Yazıcı, B. (2011). The electrochemical synthesis of poly(pyrrole-co-o-anisidine) on 3102 aluminum alloy and its corrosion protection properties. *Mater. Chem. Phys.* 125, 370–376.
- [15] Martins, J.I., Reis, T.C., Bazaoui, M., Bazaoui, E.A., Martins, L. (2004). Polypyrrole coatings as a treatment for zinc-coated steel surfaces against corrosion. *Corros. Sci.* 46, 2361–2381.
- [16] Mert, B.D., Solmaz, R., Kardaş, G., Yazıcı, B. (2011). Copper/polypyrrole multilayer coating for 7075 aluminum alloy protection. *Prog. Org. Coatings.* 72, 748–754.
- [17] Akdag, A., Ozyilmaz, G., Ozyilmaz, A.T. (2018). Poly(2-chloroaniline) and poly(aniline-co-2-chloroaniline) films on ZnFe alloy plating. *Anti-Corrosion Methods Mater.* 65, 580–586.
- [18] Ozyilmaz, A.T., Ozyilmaz, G., Karahan, I.H. (2016). The formation of passive layers on zinc based platings. *Acta Chim. Slov.* 63, 809–821.
- [19] Akdag, A., Ozyilmaz, A.T. (2017). Poly(N-methylpyrrole) film on ZnNi plated carbon steel electrode. *Acta Chim. Slov.* 64, 312–318.

Araştırma Makalesi - Research Article

Konser Salonu Akustik Koşullarının Değerlendirilmesi: Adana Büyükşehir Belediyesi Konser Salonu Örneği

Okan ŞİMŞEK^{1*}

Geliş / Received: 30/03/2020

Revize / Revised: 08/05/2020

Kabul / Accepted: 26/05/2020

ÖZ

Bu çalışma kapsamında, Adana Büyükşehir Belediyesi Konser Salonu'nun akustik koşulları değerlendirilmiştir. Aktif olarak kullanılan 525 kişi kapasiteli salonun mevcut durumu için akustik değerlendirmeler, sesin nesnel parametrelerinden; reverberasyon süresi (RT), erken düşme süresi (EDT), netlik (C80), yanal enerji oranı (LF) ve zamansal ağırlık merkezi (Ts) üzerinden yapılmıştır. Sesin nesnel parametrelerini elde etmek amacıyla akustik simülasyon programlarından faydalanılmıştır. Simülasyonda kullanmak amacıyla, konser salonunun üç boyutlu modeli SketchUp 2017 yazılımında modellenmiştir. ODEON Room Acoustics Software 14.00 Combined kullanılarak oluşturulan simülasyondan faydalanılarak konser salonunun analizi yapılmıştır. Bu çalışma Adana Büyükşehir Belediyesi Konser Salonu'nun akustik simülasyonlarına, mimari ve akustik bitiş özelliklerine, ulusal ve uluslararası standartlara uygunluğunun araştırılmasına ve bunların sonuçlarına dayandırılmaktadır. Akustik açıdan frekanslara göre literatürde önerilen kabul edilebilir aralık dışında kalan değerlerin optimum düzeye getirilmesi için mekanların mimari ve akustik bitiş elemanlarında değişiklik önerileri getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Hacim Akustiği, Akustik Tasarım, Akustik Simülasyon, Konser Salonu

*Sorumlu yazar iletişim: osimsek@eskisehir.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3500-9438>)
Mimarlık Bölümü, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

Evaluation of Concert Hall Acoustic Conditions: Adana Metropolitan Municipality Concert Hall Case

ABSTRACT

As part of this study, the acoustic properties of the Adana Metropolitan Municipality Concert Hall were evaluated. The acoustic evaluations for the current condition of the actively used concert hall that accommodates up to 536 people, are based on the objective parameters of sound: reverberation time (RT), early decay time (EDT), clarity (C80), lateral energy fraction (LF) and center time (Ts). Acoustic simulation software's were used to gather the objective parameter of sound. A 3D model of the concert hall was prepared in SketchUp 2017 to be used in simulations. Utilizing the simulation done in ODEON Room Acoustics Software 14.00 Combined the concert hall was analyzed. This study is based on the acoustic simulations and the characteristic of architectural and acoustic finish elements of the Adana Metropolitan Municipality Concert Hall; and also, on the research of the concert halls accordance to national and international standards and the result of said research. Changes were proposed in the architectural and acoustic finish elements of the hall, so as to optimize the acoustic frequency values that were out of the acceptable range stated in their literature.

Keywords- *Room Acoustics, Acoustic Design, Acoustic Simulation, Concert Hall*

I. GİRİŞ

Bir ortamda insanı yakından etkileyen ve saran fizik koşullarının tümüne yapı fiziği denilmektedir. Isı, ışık, ses, renk, nem gibi etkenler yapı fiziği öğeleri olarak bir mekanın fiziki ortam koşullarının oluşmasına neden olurlar. Bu fiziki etkenler mimaride önemli bir yer tutarlar. Kullanıcılar için uygun ortamlar tasarlamak zorunda olan mimarlar, kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik yapısına uygun olarak yaşama, öğrenme, çalışma, sosyalleşme vb. faaliyetlerini yerine getirecek mekanları tasarlarlar. Tasarlanan bu mekanların fiziki ortam koşulları bireylerin üzerinde fizyolojik, psikolojik ve iş performansı yönünden ciddi etkileri vardır [1-5].

Yapıların fizik ortam denetiminin bir bölümünü oluşturan ses denetiminin iki hedefi vardır, gürültü denetimi ve hacim akustiği. Gürültü denetimi, yapı kabuğu ve bölme elemanları aracılığıyla iletilen seslerin düzeylerini kontrol altında tutmak için alınacak önlemleri kapsar. Bu sayede her türlü yapı, işletme ve tesisin faaliyetleri sırasında bireylerin etki altında kalacağı, her türlü gürültünün, kişilerin, iyi duyma ve algılama koşullarının gerçekleşmesi için, bireylerin fizyolojik ve psikolojik yapılarına gelebilecek her türlü zarar ortadan kaldırılmış olur [6-9].

Hacim akustiği ise, kapalı hacimlerdeki reverberasyon süresi başta olmak üzere hacim akustiği parametrelerinin düzenlenmesidir. Hacim akustiği ve gürültü denetimi birbirleriyle ilişkilidir ve ayrı düşünülemez. Gürültü denetimi, hacim akustiği koşullarının sağlanmasında önemli bir yere sahipken hacim akustiği de gürültü denetimi problemlerinin çözülmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Hacim akustiği salonlarda yapılan konuşma eylemlerinin dinleyiciler tarafından rahatça anlaşılabilmesini, müzik ve müzik öğelerinin dinleyicilerce net ve açık bir şekilde algılanmasını sağlar.

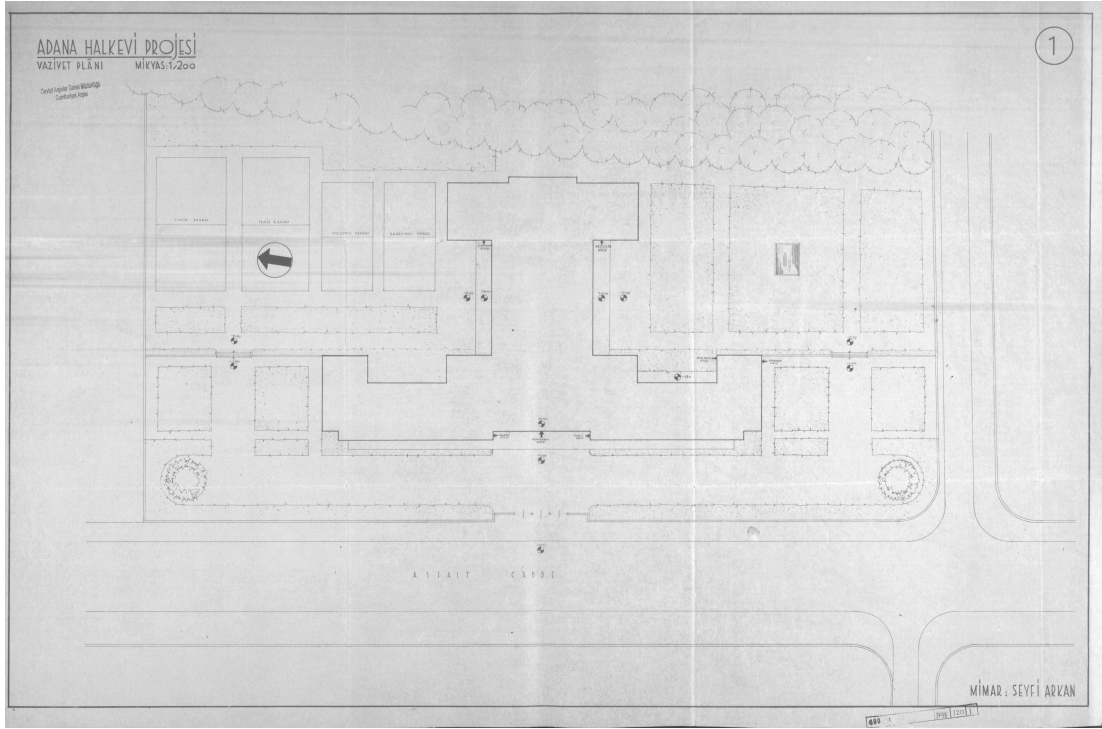
Bu çalışma kapsamında, Adana Büyükşehir Belediyesi Konser Salonu'nun akustik özellikleri ODEON Room Acoustics Software 14.00 Combined bilgisayar programında analiz edilerek mevcut durum için akustik sorunlar ortaya konulmuştur. Bu bağlamda reverberasyon süresi (RT), erken düşme süresi (EDT), netlik (C80), yanal enerji oranı (LF) ve zamansal ağırlık merkezi (Ts) nesnel parametreleri değerlendirilmiştir.

Hacim akustiğinde en önemli parametre olarak kabul edilen reverberasyon süresi, kaynak kapatıldıktan sonra ses basınç düzeyinin 60 dB azalınca kadar geçen süre Reverberasyon Süresi (RT) olarak ifade edilmektedir [10]. Yine aynı şekilde ses kaynağının sönümlenmesini takiben düzeyinin 10 dB azalınca kadar geçen sürenin 6 katı Erken Düşme Süresi (EDT) olarak ifade edilmektedir [11]. Kapalı bir hacimde ses kaynağının kapatılmasından sonraki 80 ms içinde yansıyarak alıcıya ulaşan seslerin enerjisinin, bu süreden sonra alıcıya yansıyarak ulaşan seslerin enerjisine logaritmik oranı Netlik (C80) olarak ifade edilmektedir [12]. Yanal Enerji Oranı (LF), yan yüzeylerden yansıyan ses enerjilerinin önemini vurgulamak üzerine geliştirilmiş bir parametre olup yan yüzeylerden yansıyarak alıcıya ulaşan ses enerjisinin toplam ses enerjisine olan oranına odaklanan bir parametredir [13]. Zamansal Ağırlık Merkezi (Ts) parametresi ise enerji ağırlık merkezine ulaşmak için geçen süre olarak tanımlanmaktadır [14].

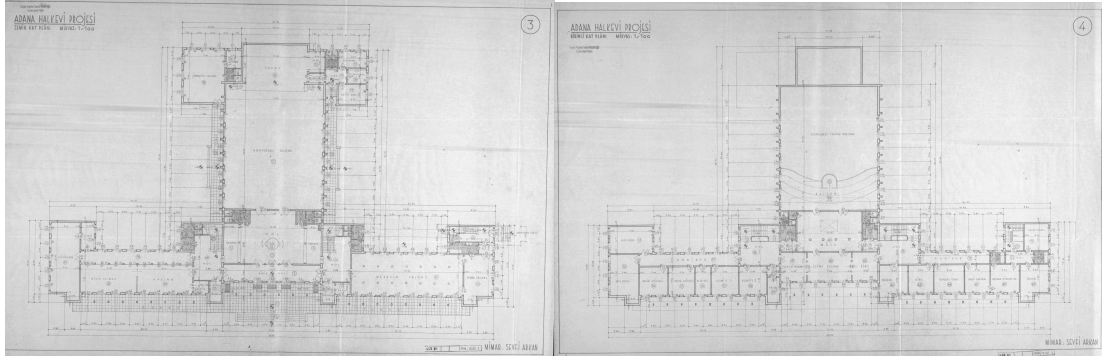
II. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında öncelikle Adana Büyükşehir Belediyesi Konser Salonu hakkında literatür taraması yapılmıştır. Modernist açılımda bir öncü olarak tanınan mimar Seyfi Arkan tarafından 1939-1940 yılında tasarlanmış ve gerçekleştirilmiş bir Halkevi projesidir. Seyfi Arkan, Adana'da belediye için bazı tasarımlar yaptığı 1939-40 yılında, bu kent için bir de halkevi tasarlamış ve gerçekleştirmiştir. 1930'ların başındaki kuruluşlarından itibaren halkevleri, hemen her kent için hem kültürel işlevleri ile toplumsal yaşamın, hem de yeni binaları ile modern yapılaşma programının önemli bileşenleri olmuşlardır [15].

Adana Halkevi için yapılan araştırmalarda Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Cumhuriyet Arşivi'nde ki plan ve projelere bakıldığında, iki takım proje olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan birinci tasarım, bazı değişikliklerle uygulandığı görülen projenin çizimleridir (Şekil 1,2).



Şekil 1. Adana Halkevi, uygulanan proje vaziyet planı [16]



Şekil 2. Adana Halkevi, uygulanan proje zemin ve üst kat planı [16]

Arşivdeki uygulanan projede teknik bilgilerin yetersizliği ve projenin uygulanması sırasında yapılan değişiklikler veya süreç içerisinde geçirdiği tadilatlar öngörülerek çalışma kapsamında öncelikle konser salonunun rölövesi alınmış, iç mekan yüzey kaplama malzemeleri belirlenmiş ve üç boyutlu modellemesi SketchUp 2017’de hazırlanmıştır. Konser salonunun boyu sahnesiyle birlikte 29,50 m, eni 17,50 m, yüksekliği ise sahnede 6 m salonunda 9 m ile 8,6 m arasında değişmektedir. Salon kısmı yaklaşık %3’lük bir eğimli yükselmektedir. Sahne platformu ise 130 cm yükseltilmiştir. 112 kişilik balkonu ana salondan 3 m yukardadır. Yaklaşık 3738 m³ hacme sahip olan konser salonunda 525 kişinin aynı anda etkinliği takip etmesine imkan sağlamaktadır. Kişi başına düşen hacim 7,12 m³/kişi olup bu değer göz önüne alındığında hacim konser işlevi için gerekli olan literatürde önerilen optimum kişi başına düşen değerlere çok yakın olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1).

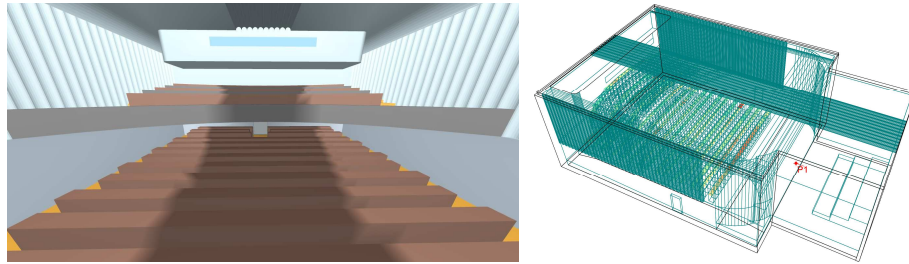
Tablo 1. Önerilen kişi başına düşen hacim miktarı

	Hacim (m ³ /Kişi)			
	Doelle [17]		Maekawa [18]	
	Min	Max	Önerilen	Önerilen
Konuşma	2,3	4,3	3,1	4-6
Tiyatro-Sinema	2,8	5,1	3,5	4-6
Opera	4,5	7,4	5,7	6-8
Çok amaçlı salon	5,1	8,5	7,1	6-8
Konser salonu	6,2	10,8	7,8	8-10



Şekil 3. Adana Büyükşehir Belediyesi Konser Salonu fotoğrafı

Dikdörtgen prizma formundaki konser salonunun sahne ve salon kısmının zemini ahşap olmakla birlikte salon sirkülasyon aksı halı kaplama, yan duvarlar ve arka duvar ise 3 metreye kadar ahşap panellerle kaplı iken 3 metreden sonra tavana kadar küçük yarıçaplılara sahip iç bükey alçı panel levhalar yer almaktadır. Tavanda tamamen alçı panel levhalar kullanılırken tavanın yaklaşık 4 metrelik orta aksı küçük yarıçaplılara sahip iç bükey yüzeylerden oluşmaktadır. Balkon parapeti dış bükey yüzeye sahip olup üzerine sıva üstü boya kaplıdır. Salonun koltukları ahşap, koltukları ise tamamen kumaş kaplıdır.



Şekil 4. Konser salonunun ODEON için hazırlanan modeli

Konser salonun iç mekan yüzeylerinde kullanılan kaplama malzemeleri ve özellikleri Tablo 2’de yer almaktadır. Konser salonunun iç mekan yüzeylerinde kullanılan malzemeler ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayıları Tablo 3’de verilmektedir. Optimum aralık değerlendirilmesi bütün frekans aralıkları için gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Konser salonunun iç mekan yüzeylerinde ki yapı elemanlarında kullanılan malzemeler ve özellikleri

Yapı Elemanı	Malzeme	Özellik
Sahne döşeme	Ahşap kaplama	Döşeme tahtası
Salon döşeme	Ahşap kaplama	Koltuk alanı döşemesi
	Halı	Sirkülasyon aksı halı kaplama
Yan duvarlar	Ahşap pano	3 metreye kadar ahşap pano
	Alçı panel	3 metreden sonra tavana kadar
Arka duvar	Ahşap pano	3 metreye kadar ahşap pano
	Alçı panel	Balkondan sonra tavana kadar
Tavan	Alçı panel	Tavanın yaklaşık 4m'lik orta aksı 30 ar cm'lik iç bükey

Tablo 3. Konser salonunun iç mekan yüzeylerinde kullanılan malzemeler ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayıları

NO	Yüzey	Malzeme Kodu	Malzeme	Ses yutma Katsayıları							
				63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	Balkon Parapeti	102*	B.A.+Sıva+Boya	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
2	Sahne Arkası	**	Mermer Malzeme	0.20	0.20	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10
3	Duvar ve Tavan	**	Alçı	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.07
4	Dinleyici	**	Dinleyici	0.25	0.28	0.37	0.42	0.45	0.48	0.48	0.50
5	Pencere	10001*	Tek cam	0.18	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
6	Ahşap Panolar	**	Ahşap	0.20	0.20	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10
7	Kapı	10007*	Ahşap	0.14	0.14	0.1	0.06	0.08	0.1	0.1	0.1
8	Halı	**	Halı	0.04	0.04	0.04	0.15	0.29	0.52	0.59	0.62
9	Zemin Döşemesi	**	Ahşap	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
10	Perde	8005*	Pamuklu kumaş	0.3	0.3	0.45	0.65	0.56	0.59	0.71	0.71

* : [19]

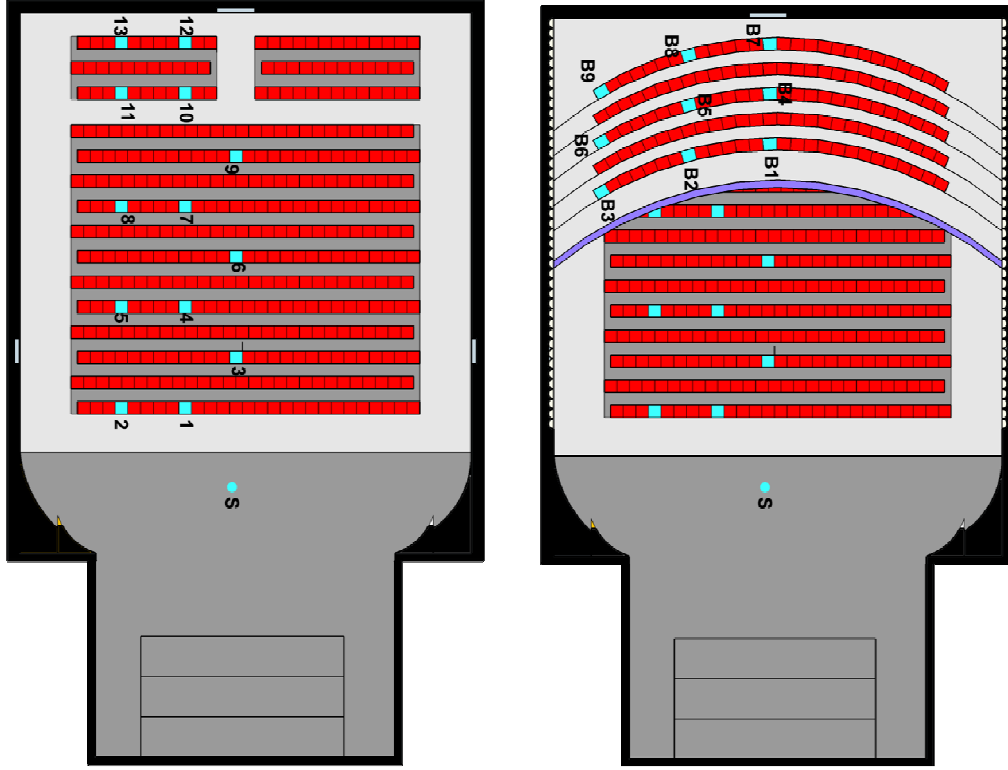
** : [20]

Üç boyutlu modeli hazırlanan konser salonu ODEON Room Acoustics Software 14.00 Combined simülasyon yazılımına aktarılmış ve yazılım üzerinden sırasıyla aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir;

İlk olarak model üzerindeki bütün yüzeylere genel malzeme ataması yapılmış, model üzerinde birleşim hatalarının olup olmadığı kontrol edilmiş ve sonrasında konser salonunun mevcut yüzeylerindeki malzemelerin ataması yapılmıştır. Daha sonra hacim akustiği hesap parametrelerine ait değerlerin atamaları gerçekleştirilmiştir. Program çalıştırılarak sesin nesnel parametrelerine ait veriler elde edilmiştir.

Odeon programında çok yönlü noktasal ses kaynağı kullanılmış olup kaynak; simetri ekseninde, sahne platformundan 1.50 metre yükseklikte ve sahne önünden 2 metre arka duvar yönünde konumlandırılmıştır. Konser salonunda dinleyicilerin konumu 0.50x0.50x1.2 metre dikdörtgenler prizması şeklinde yerleştirilmiştir.

konser salonu simetrik olduğu için simetri ekseninin sadece bir tarafına 22 tane dinleyici noktası yerleştirilmiştir (Şekil 5).



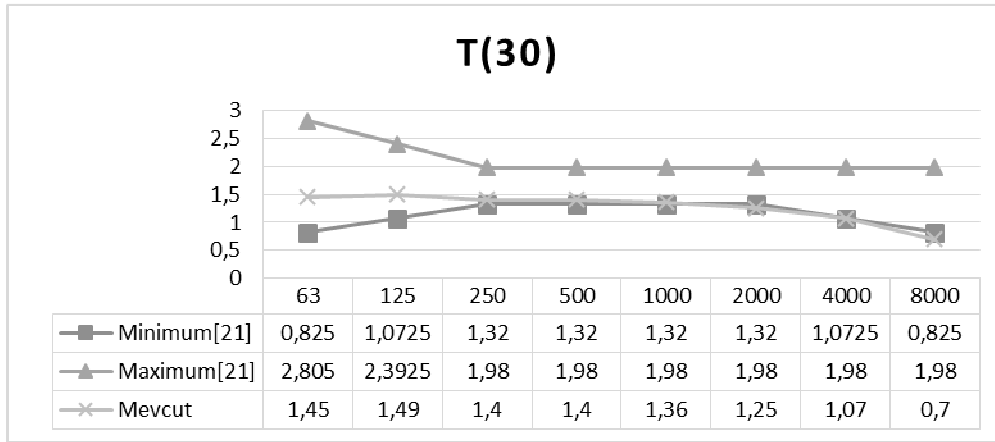
Şekil 5. Konser salonunun zemin ve balkon katına simülasyon programında yerleştirilen dinleyici noktaları

III. KONSER SALONUNDA SESİN NESNEL PARAMETRE DEĞERLERİ

Program çalıştırdıktan sonra sesin nesnel parametre değerlerine ait elde edilen sonuçlar literatürde önerilen optimum değer aralıkları ile karşılaştırılmıştır. Sonrasında ise optimum sınır değerler dışında kalan nesnel parametre değerlerinin optimum düzeylerde elde edilebilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

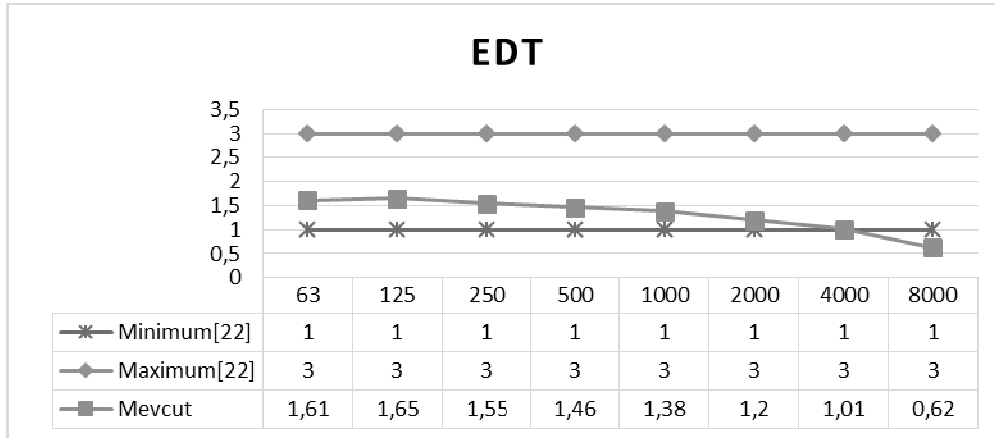
A. Konser Salonunun Mevcut Durumu için Elde Edilen Sesin Nesnel Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Konser salonu ile ilgili değerlendirmeler; reverberasyon süresi(T30), erken düşme süresi(EDT), netlik(C80), yanıl enerji oranı (LF80) ve zamansal ağırlık merkezi (Ts) parametrelerinin literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri ile karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilmiştir.



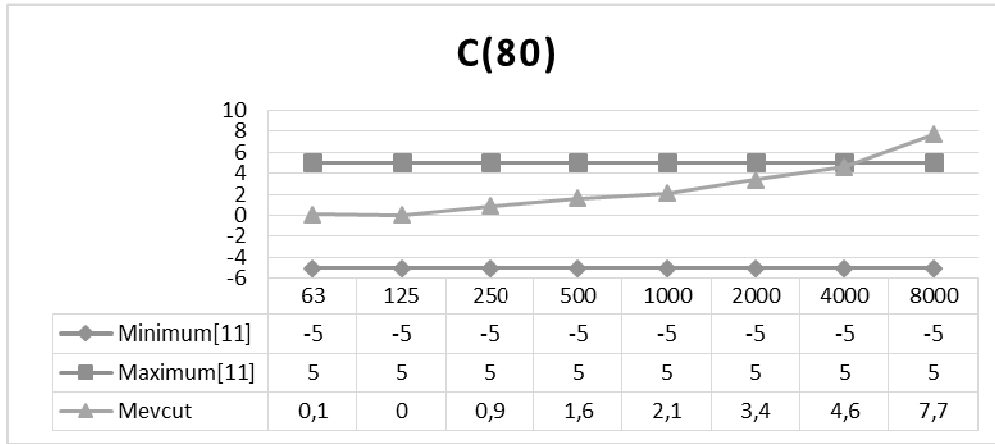
Şekil 6. Konser salonu T30 parametresinin frekanslara göre literatürde önerilen kabul edilebilir değerler ile karşılaştırılması

1) *Reverberasyon Süresi (RT)*: Konser salonunun mevcut durumu için elde edilen reverberasyon süresi(T30) değerleri istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde; RT değeri 500-1000 Hz’de (orta frekans bölgesi) literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağladığı görülmektedir. 2000 Hz ve 8000 Hz’de ise literatürde önerilen kabul edilebilir değerlerin biraz altında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6).



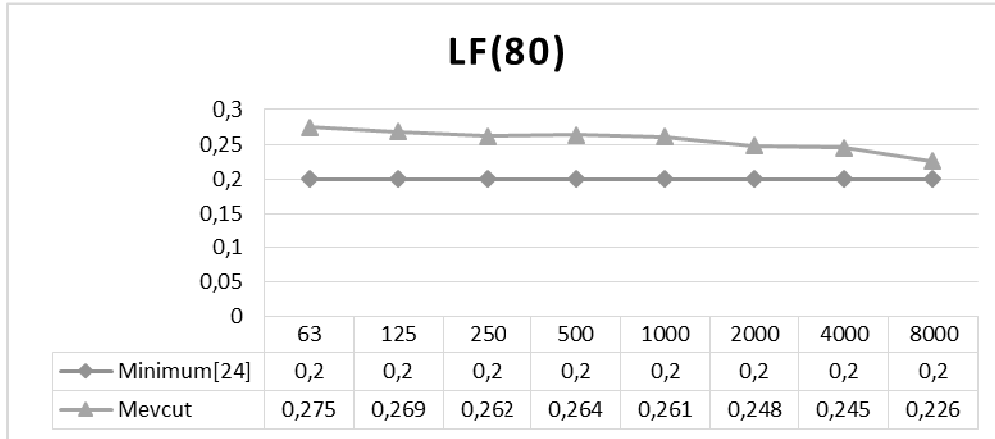
Şekil 7. Konser salonu EDT parametresinin frekanslara göre literatürde önerilen kabul edilebilir değerler ile karşılaştırılması

2) *Erken Düşme Süresi (EDT)*: Konser salonunun mevcut durumu için elde edilen erken düşme süresi(EDT) değerleri istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde; EDT değeri 500-1000 Hz’de (orta frekans bölgesi) literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağladığı görülmektedir (Şekil 7). Sadece 8000 Hz’de ise literatürde önerilen kabul edilebilir değerlerin biraz altında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, salon genelinde yayıncı ses alanı koşulunun sağlanması için EDT/T30 oranının 0,8 - 1,1 arasında olması istenmektedir.[23] Bu değer, konser salonu 500-1000 Hz (orta frekans bölgesi) aralığı için 1,02 olduğundan konser salonu genelinde yayıncı yani homojen dağılımlı bir ses alanı olacağı varsayılabilir.



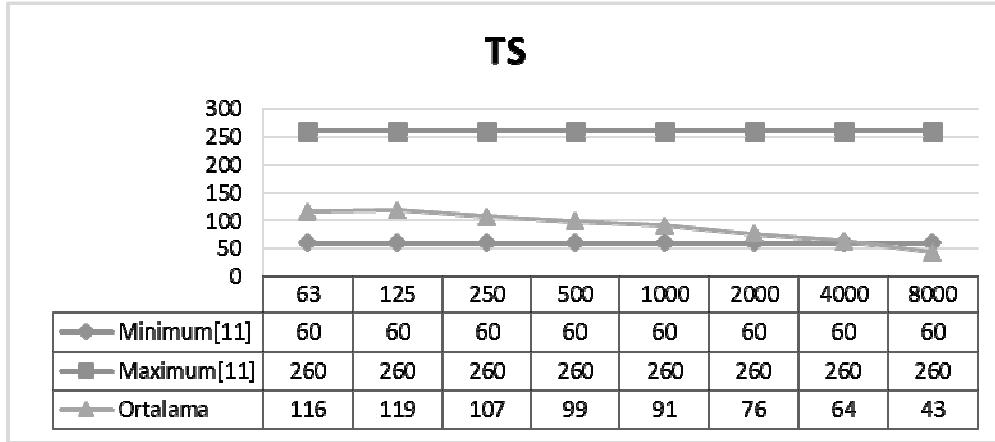
Şekil 8. Konser salonu C80 parametresinin frekanslara göre literatürde önerilen kabul edilebilir değerler ile karşılaştırılması

3) *Netlik (C80)*: Konser salonunun mevcut durumu için elde edilen netlik (C80) değerleri istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde; C80 değeri 500-1000 Hz’de (orta frekans bölgesi) literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağladığı görülmektedir (Şekil 8). Sadece 8000 Hz’de ise literatürde önerilen kabul edilebilir değerlerin biraz üzerinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 9. Konser salonu LF80 parametresinin frekanslara göre literatürde önerilen kabul edilebilir değerler ile karşılaştırılması

4) *Yanal Enerji Oranı (LF80)*: Konser salonunun mevcut durumu için elde edilen yanal enerji oranı (LF80) değerleri istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde; LF80 değeri bütün frekans bölgelerinde literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağladığı görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 10. Konser salonu Ts parametresinin frekanslara göre literatürde önerilen kabul edilebilir değerler ile karşılaştırılması

5) *Zamansal Ağırlık Merkezi (Ts)*: Konser salonunun mevcut durumu için elde edilen zamansal ağırlık merkezi(Ts) değerleri istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde; Ts değeri 500-1000 Hz’de (orta frekans bölgesi) literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağladığı görülmektedir. Sadece 8000 Hz’de ise literatürde önerilen kabul edilebilir değerlerin biraz altında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 10).

IV. ÖNERİLER

Hacim akustiğinde en önemli parametre olarak kabul edilen reverberasyon süresi öteki hacim akustiği parametreleri ile olan genel ilişkisi ve pek çok hacim akustiği kuramının bu kavramla doğrudan bağlantı kurulması nedeniyle temel parametre olarak kabul edilmektedir. Konser salonunun 8000 Hz frekans bölgesinde toplam yutuculuğunun fazla olması, reverberasyon süresinin yüksek frekans bölgesi için literatürde önerilen kabul edilebilir değerlerin altında çıkmasına sebep olmuştur. Yüksek frekans bölgesinde hacmin toplam yutuculuğunun azaltılması ya da yansıtıcılığının artırılması yoluna gitmek ve bu yönde malzeme değişiklikleri yapmak reverberasyon süresinin bu bölge için literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağlayacağını göstermektedir.

Bu kapsamda Tablo 3’te konser salonunun iç mekan yüzeylerinde kullanılan malzemeler ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayılarına baktığımızda dinleyince bölgesi zemininde kullanılan halı ve pamuklu kumaş perde yüksek frekans bölgesinde en yüksek ses yutma katsayısına sahip malzemelerdir. Bu malzemeler düşük ve orta frekans bölgesinde ses yutma katsayıları çok yakın, yüksek frekans bölgesinde daha düşük ses yutma katsayılarına sahip malzemelerle değiştirilmesi önerilerek reverberasyon süresi için yüksek frekans bölgesinde literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağlayacağı öngörülmektedir.

Ayrıca, salon genelinde yayıncı ses alanı koşulunun sağlanması için EDT/T30 oranının 0,8 - 1,1 arasında olması istenmektedir.[23] Bu değer, konser salonu 500-1000 Hz (orta frekans bölgesi) aralığı için 1,02 olduğundan konser salonu genelinde yayıncı yani homojen dağılımlı bir ses alanı olacağı varsayılabilir. Bu varsayımla reverberasyon süresinin yüksek frekans bölgesinde artırılması erken düşme süresinin(EDT) de artacağını ve yüksek frekans bölgesi için literatürde önerilen kabul edilebilir değerlerin sağlanacağını göstermektedir.

Yine yüksek frekans bölgesinde hacmin toplam yutuculuğunun azaltılması ya da yansıtıcılığının artırılması yoluna giderek reverberasyon süresinin literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağlaması, literatürde kabul edilen reverberasyon süresi ile netlik(C80) parametresi arasındaki ilişkiyi gösteren formül: $C_{exp} = 10 \log_{10} [\exp(1.104/T)-1]dB$ [7] kullanıldığında C80 parametresinin de artacağını ve yüksek frekans bölgesi için literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağlanacağını göstermektedir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, Adana Büyükşehir Belediyesi Konser Salonu hakkında literatür taraması ve arşiv araştırmaları sonucunda kaynaklara ve Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Cumhuriyet Arşivi'nde ki plan ve projelere ulaşılmıştır. Arşivden elde edilen projedeki teknik bilgilerin yetersizliği ve projenin uygulanması sırasında yapılan değişiklikler veya süreç içerisinde geçirdiği tadilatlar öngörülerek çalışma kapsamında öncelikle konser salonunun rölövesi alınmış, iç mekan yüzey kaplama malzemeleri belirlenmiş ve üç boyutlu modellemesi hazırlanmıştır. Rölöve aracılığıyla hacim ölçülerine ulaşılan konser salonunda kişi başına düşen hacim, konser işlevi için gerekli olan literatürde önerilen optimum kişi başına düşen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Adana Büyükşehir Belediyesi Konser Salonu'nun akustik koşulları değerlendirilmiştir. Aktif olarak kullanılan konser salonunun mevcut durumu için akustik değerlendirmeler, sesin nesnel parametrelerin üzerinden yapılmıştır. Sesin nesnel parametrelerini elde etmek amacıyla akustik simülasyon programlarından faydalanılmıştır. Bu çalışma Adana Büyükşehir Belediyesi Konser Salonu'nun akustik simülasyonlarına, mimari ve akustik bitiş özelliklerine, ulusal ve uluslararası standartlara uygunluğunun araştırılmasına ve bunların sonuçlarına dayandırılmaktadır. Akustik açıdan frekanslara göre literatürde önerilen kabul edilebilir aralık dışında kalan değerlerin optimum düzeye getirilmesi için mekanların mimari ve akustik bitiş elemanlarında değişiklik önerileri getirilmiştir.

Adana Büyükşehir Belediyesi Konser Salonu'nun akustik koşulları sesin nesnel parametreleri üzerinden değerlendirildiğinde, düşük ve orta frekans bölgesinde sesin nesnel parametrelerinin tamamında literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağlamaktadır. Ancak yüksek frekans bölgesi(4000-8000 Hz) civarında sesin nesnel parametrelerinin tamamı için literatürde önerilen kabul edilebilir değerlere çok yaklaşmakta ancak sağlamamaktadır. Hacim akustiğinde sesin nesnel parametrelerinin öteki parametreler ile olan genel ilişkisi ve doğrudan bağlantı kurulması nedeniyle, yukarıdaki öneriler uygulandığında Adana Büyükşehir Belediyesi Konser Salonu'nun bütün frekans bölgeleri için literatürde önerilen kabul edilebilir değerleri sağlayacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Monterio, C., Machimbarrera, M., Tarrero, A.I., Smith, S.R. (2017). Translation Between Existing And Proposed Harmonized Airborne Sound Insulation Descriptors: A Statistical Approach Based On In-Situ Measurements. *Applied Acoustics*, 116, 93-107.
- [2] Hongisto, V., Mäkilä, M., Suoakas, M. (2015). Satisfaction With Sound Insulation In Residential Dwellings -The Effect Of Wall Construction. *Building and Environment*, 85, 309-321.
- [3] Pääkkönen, R., Vehviläinen, T., Jokitulppo, J., Niemi, O., Nenonen, S., Vinha, J. (2015). Acoustics and New Learning Environment – A Case Study. *Applied Acoustics*, 100, 75-78.
- [4] Jagiatinskis, A., Mickaitis, M., Fiks, B. (2013). Development Classification Scheme for Evaluation Dwellings Sound Insulation Performance in Lithuania. *Procedia Engineering*, 57, 443-450.
- [5] Garg, N., Kumar, A., Maji, S. (2013). Significance and Implications of Airborne Sound Insulation Criteria in Building Elements for Traffic Noise Abatement. *Applied Acoustics*, 74, 1429-1436.
- [6] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü. (2018). *Binaların Gürültüye Karşı Korunması Yönetmeliği Açıklama ve Uygulama Kılavuzu*. Ankara, <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/binalarin-gurultuye-karsi-korunmasi-yonetmeliği-acıklama-ve-uygulama-klavuzu.pdf>, Ziyaret tarihi Mart 23, 2020.
- [7] Rossing T. D. (2007). Springer Handbook of Acoustics. Springer, New York, 1280.
- [8] EEA. (2014). Noise in Europe 2014. European Environment Agency, Copenhagen.

- [9] Jariwala H. J., Syed H. S., Pandya M. J. ve Gajera Y. M. (2017). Noise Pollution & Human Health: A Review. Noise and Air Pollution: Challenges and Opportunities, Mart 2017, 29 Ağustos 2017 tarihinde ResearchGate'e yüklendi.
- [10] Long, M. (2006). Architectural acoustics. New York: Elsevier Academic Press. London
- [11] ISO. (2009). Acoustics – Measurement of rooms acoustic parameters – Part 1: Performance spaces, BS EN ISO-3382-1.
- [12] Barron, M. (1993). Auditorium acoustics and architectural design. London: E & FN Spon.
- [13] Marshall, A.H. (1967). A Note on the Importance of Room-Cross Section in Concert Halls, *Journal of Sound and Vibration*, 5, 100-112.
- [14] Cremer, L., Müller, A.H., Schultz, T. (1982). Principles and Applications of Room Acoustics Volume 1. Applied Science Publishers, London, 674.
- [15] Cengizkan, A., İnan, A.D., Cengizkan, N.M. (2012). Modernist Açılımda Bir Öncü: Seyfi Arkan. TMMOB Mimarlar Odası Yayınları, Ankara, 586.
- [16] Devlet Arşivleri Genel Müdürlüğü Başkanlık Cumhuriyet Arşivi
- [17] Doelle, L.L. (1965). Acoustics in Architectural Design. Bibliography 29, National Research Council, Ottawa, 516.
- [18] Maekawa, Z., Lord, P. (1994). Environmental and Architectural Acoustics. Spon Press, UK, 376.
- [19] ODEON Room Acoustics Software 14.00 Combined malzeme kütüphanesi.
- [20] Sirel, Ş. (1974). Yapı Akustiği I Temel Bilgiler. İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Yayınları, İstanbul, 114.
- [21] DIN. (2016). Acoustic quality in rooms - Specifications and instructions for the room acoustic design, DIN 18041: 2016-03
- [22] Bistafa, S.R., Granado, M.V. (2005). A Survey of The Acoustic Quality For Speech in Auditoriums. *Electronic Journal Technical Acoustics*, 15, 1-16.
- [23] Voronina N. (1996). Improved empirical Model of Sound Propagation Through a Fibrous Material. *Applied Acoustics*, 48, 121-132.
- [24] Bistafa, S.R., Granado, M.V. (2002). Objective Measurements of Speech Intelligibility in Proscenium Type of Theatres. XX Encontro da Sociedade Brasileira de Acustica SOBRAC, 2002, Rio de Janeiro, 1-6.

Araştırma Makalesi - Research Article

Plazma Transferli Ark (PTA) Yöntemi ile Üretilen WC Kompozit Kaplamalarda Enerji Girdisinin Mikroyapısal ve Tribolojik Özelliklere Etkisi

Koray Kılıçay^{1*}

Geliş / Received: 13/03/2020

Revize / Revised: 13/05/2020

Kabul / Accepted: 24/05/2020

ÖZ

Bu çalışmada, plazma transferli ark (PTA) yöntemi ile 3 farklı enerji girdisi kullanılarak 1.2842 soğuk iş takım çeliği üzerinde tungsten karbür (WC) tozu ile yüzey modifikasyon işlemi uygulanmıştır. Enerji girdileri işlem sırasında farklı akım değerleri ve ilerleme hızları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin mikroyapı özellikleri optik mikroskop, SEM, EDS ve XRD analizleri ile belirlenmiştir. Sürtünme ve aşınma özellikleri pim-disk aşınma test yöntemi kullanılarak ASTM-G99 standartlarına göre belirlenmiştir. Aşınan yüzeyler SEM ve EDS analizleri ile incelenerek aşınma mekanizmaları tespit edilmiştir. Yüzeyi alaşımlandırılmış numunelerin interdendritik bölgelerinde WC, Fe₃W₃C ve Fe₇C₃ gibi sert karbür yapıları oluşmuştur. Enerji girdilerinin etkisiyle interdendritik bölgelerin büyüklüğü değişmiştir. Düşük enerji girdisi WC tozunun tam olarak ayrışmasını sağlamadığı için interdendritik bölgelerde daha az W içerikli karbür oluşturmuştur. Deneysel çalışmalar sonucunda optimum enerji girdisi olarak 0.9 kJ/mm belirlenmiştir. WC kaplamalarda oluşan sert karbür fazlarının etkiyle sertlik yaklaşık 5 kat artmış ve aşınma oranı yaklaşık 7 kata kadar azalmıştır. WC kaplamaların ana aşınma mekanizması abrasif ve oksidatif aşınma olmuştur.

Anahtar Kelimeler- PTA yüzey modifikasyonu, Isı girdisi, Tungsten karbür, Sürtünme ve aşınma.

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: kkilicay@ogu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-2025-4991>)

Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Batı Meşelik Kampüsü Odunpazarı/Eskişehir

Effect of Energy Input on Microstructural and Tribological Properties of WC Composite Coatings Produced by Plasma Transfer Arc (PTA) Method

ABSTRACT

In this study, surface modification with tungsten carbide (WC) powder was applied on 1.2842 cold work tool steel using 3 different energy inputs by plasma transfer arc (PTA) method. Energy inputs were performed with different current values and feed rates during the process. Microstructure properties of the samples were determined by optical microscope, SEM, EDS and XRD analysis. Friction and wear properties were determined with pin-disk wear test method according to ASTM-G99 standard. Worn surfaces were examined by SEM and EDS analysis and wear mechanisms were determined. Hard carbide structures such as WC, Fe_3W_3C and Fe_7C_3 were formed in the interdendritic regions of the modified samples. The size of the interdendritic regions changed with the effect of energy inputs. Since the low energy input did not fully decompose the WC powder, it produced less W content carbide in the interdendritic regions. As a result of experimental studies, 0.9 kJ / mm was determined as the optimum energy input. The hardness was increased approximately 5 times and the wear rate was reduced up to 7 times in WC coatings due to the formed hard carbide phases. The main wear mechanism of WC coatings was abrasive and oxidative wear.

Keywords- *PTA surface modification, Heat input, Tungsten carbide, Friction and wear.*

I. GİRİŞ

Temas halinde çalışan hareketli makine parçalarında sürtünme ve aşınma önemli bir problemdir. Aşınma tespit edilemediğinde ciddi güvenlik tehditleri oluşturabilecek temel arıza türüdür. Çoğu malzeme ağır yükler ve yüksek sıcaklıklar gibi zorlu koşullarda düşük aşınma performansı gösterir [1]. Aşınmanın azaltılabilmesi için çeşitli yüzey ergitme ve alaşımlandırma işlemleri kullanılmaya devam etmektedir. Bunlardan en önemlileri lazerle yüzey ergitme (LSM) [2], gaz tungsten ark (TIG veya GTAW) [3] ve plazma transferli ark (PTA) [4] yöntemleridir. PTA yöntemi farklı özelliklerdeki kaplama tozlarının altlık malzemenin üzerinde ergitilmesi prensibine dayanır [5]. Yüksek enerji yoğunluğuna sahip plazma arkı altlık üzerine uygulandığında yüzeyi hızla eritir. Bu yöntemle, erimiş havuz içine kaplama tozları ilave edilerek metalürjik reaksiyonlar gerçekleştirilebilir. Alaşımlandırılmış havuz hızla katılaşıp, altlık malzeme ile metalürjik olarak bağlanmış, yüzey özellikleri değiştirilmiş tabakalar oluşturur. PTA yöntemi kullanılarak malzemelerin aşınma direnci ve korozyon dayanımı gibi yüzey özellikleri geliştirilebilir [6]. PTA tekniği yüksek birikme oranı, yüksek birikme verimliliği, düşük ısı girdisi, iyi metalürjik bağlanma ve düşük distorsiyon gibi önemli avantajları sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [7]. PTA yüzey modifikasyon uygulamaları, petrol sondajı, maden sanayi, enerji üretimi, plastik ekstrüzyon, çelik yapımı ve petrokimya endüstrilerinde başarıyla uygulanmaktadır [4].

Kaplama tabakalarında daha yüksek aşınma dirençleri elde etmek için, sert seramik partikül ilavesi ile metal matrisli kompozit kaplamalar (MMK) üretilir [8]. Tungsten karbür (WC), yüksek sertlik, yüksek kimyasal stabilite, düşük termal genleşme, iyi aşınma ve oksidasyon direnci gibi üstün özellikleri sayesinde ilgi çekici özelliğe sahiptir. WC takviyeli kompozit kaplamaların üretilmesi için, WC tozu Co, Ni ve Fe gibi metal tozlarına karıştırılarak kullanılır [9]. WC partikülleri ve matris metal arasındaki ıslanabilirlik nedeniyle, kaplama sertliğini ve aşındırıcı aşınma direncini optimize etmek için farklı oranlarda WC partikülü metal hammadde tozu ile karıştırılır [10]. Son yıllarda, Co'nun yüksek fiyatını nedeniyle, Ni ve Fe tozlarının veya karışımlarının bağlayıcı özelliklerini iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır [11].

Literatürde, farklı altlık malzemeler ve alaşım tozları kullanılarak geliştirilen PTA kaplamalar yaygın olarak bulunmaktadır [12, 13]. Farklı altlık malzeme ve özellikle farklı alaşım tozlarının kullanılmasıyla mikroyapıdaki fazların değişimi, kaplamanın mekanik ve tribolojik özelliklerini önemli ölçüde değiştirmektedir. WC'ün sağlayabileceği üstün özelliklere rağmen, WC kaplama tabakalarının üretilmesi için oldukça az sayıda çalışma literatürde mevcuttur. Yuan and Li [14] çalışmalarında çelik üzerinde farklı oranlarda W, C, ve Fe alaşım tozları kullanarak PTA yöntemi ile MMK kaplamalar üretmiştir. Kaplama tabakasının WC, M₆C ve γ fazlarından oluştuğunu ve WC kristalinin yüksek sertlik ve iyi tokluğa sahip üçgen prizma yapısına dönüştüğü belirlemişlerdir. WC miktarını artırarak WC / Fe karbür kaplamanın aşınma özelliğini doğrudan artırabileceğini vurgulamışlardır. Liyanage vd. [15] çalışmada farklı oranlarda Ni içeriğine sahip alaşımlar ile WC takviyeli kaplama tabakalarını PTA yöntemi ile üretmişlerdir. Kaplama tabakasının γ -Ni dendritleri, Ni tabanlı ötektik, borür ve karbür fazlardan oluştuğunu belirlemişlerdir. WC takviyesini kaplamanın sertliğini artırdığını ve aşınma direncini 2 ile 5 kat iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Kırılgan ikincil fazların ve matris tarafından daha az enerji emilimi nedeniyle, daha yumuşak matris alaşımının MMK kaplamalarda daha iyi performans sağladığını vurgulamışlardır. Yuan vd. [16] çalışmalarında FeNi matrisli WC ve WC/TiC takviyeli kaplamaları PTA yöntemi ile üretmiştir. Sertlik ve aşınma direncinin WC/TiC takviyeli kaplamalarda daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Zhang vd. [17] çalışmalarında PTA yöntemi ile üretilen Ni tabanlı WC takviyeli MMK kaplamalara farklı oranlarda TiC ilavesinin mikroyapı, sertlik ve tribolojik özelliklere olan etkilerini incelemişlerdir. TiC ilavesiyle, WC / Ni bazlı kaplamadaki kaba dendritik yapının düzgün dağılmış bloklu mikroyapıya dönüştüğü tespit etmişlerdir. Kuru kayma aşınma testinde, % 40 WC takviyeli Ni bazlı kaplama ile karşılaştırıldığında, TiC ilavesiyle hem sürtünme katsayısını hem de aşınma kaybının azaldığını vurgulamışlardır. Sundaramoorthy vd. [18] çalışmalarında 2 tip Ni taban (NiBSi ve NiCrBSi) ve 2 tip WC (makrokristalin WC ve döküm ötektik WC/W₂C) tozu kullanarak PTA yöntemi ile MMK kaplamalar üretmişlerdir. Matris kimyası ve sertliğinin, aynı tip WC'ler kullanıldığında Ni/WC-MMK'lerin aşınma direnci üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını vurgulamışlardır. Çelik [19] çalışmasında Ti6Al4V alaşımı üzerinde PTA yöntemi ile bağlayıcı kullanmadan WC-MMK kaplamalar üretmiştir. PTA işleminin sertlik ve aşınma direncini artırdığı tespit etmiştir. PTA ark akımı kaplamanın sertliğini, mikroyapısını ve aşınma özelliklerini doğrudan etkilediğini vurgulamışlardır. Wei vd. [20] çalışmalarında Ni esaslı %65 WC içeren Stelcar 65 tozunu çelik altlık üzerinde farklı akım değerleri, toz besleme hızı ve kaynak ilerleme hızları kullanarak PTA yöntemi ile kaplamışlardır. PTA işlem parametrelerinin WC'ün bozulması üzerinde önemli etkileri olduğunu

vurgulamışlardır. Kaplama tabakasında WC bozulmasından sonra Fe_3W_3C , FeW_3C ve Ni_2W_4C fazlarının oluştuğunu tespit etmişlerdir. Optimum PTA işlem parametreleri olarak 100 A kaynak akımı, 25 g/dk toz besleme hızı ve 40 mm/dk kaynak ilerleme hızı olarak tespit etmişlerdir. Yüksek enerji girdisi kullanılarak yapılan PTA işlemlerinde (120 A), WC' ün bozulmasının şiddetlendiğini vurgulamışlardır.

PTA işlemi, düşük maliyetli, yüksek ısı girdisi, yüksek verimlilik ve kolay kullanım özellikleri ile yüzey modifikasyon işlemleri için önemli bir enerji kaynağıdır. Bununla birlikte, PTA'nın WC üretmek için bir yöntem olarak kullanılması hakkında çok az araştırma bulunmaktadır. W zayıf bir karbür oluşturu elementtir, erimiş havuzun sıvı fazda bekleme süresi, WC'ün metalürjik reaksiyon süresine ulaşmak için yetersiz olabilmektedir [14]. Bu nedenle yüksek sıcaklıktaki erimiş kaynak havuzunda bağlayıcı olarak kullanılan metallerin metalürjik reaksiyonu görülebilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada bağlayıcı matris kullanılmadan WC tozu çelik altlık üzerinde farklı enerji girdileri kullanılarak yüzey modifikasyon işlemleri yapılmıştır. Oluşan fazlar, sertlik ve aşınma özelliklerindeki değişimler incelenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Altlık malzeme olarak 10x10x80mm boyutlarında 1.2842 soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. Bu altlık malzeme delme, sıvama, kesme ve enjeksiyon kalıplarında kullanılan, ısı işlemler sonrası yağda sertleştirilebilen ve kimyasal bileşimi % ağırlık olarak %0.9 C, %2 Mn, %0.25 Si, %0.4 Cr, %0.1 V ve kalan% Fe içeren çeliktir [21]. Altlık malzemenin yüzeyleri işlemler öncesi alkol ve aseton ile temizlenmiştir. Altık yüzeyine, ABCR Gute Chemie marka (AB202995), metal tabanlı, en az %99.5 saflıkta, ortalama tane boyutu 1 µm olan WC tozu alkole karıştırılarak yerleştirilmiştir. PTA yüzey eritme işlemi sırasında koruyucu gazın etkisiyle WC tozlarının yüzeyden uzaklaşmasını önlemek için, numuneler 250 °C'de 1 saat fırında bekletilmiştir. Numunelerin üst yüzeyi Fronius PTW Plasma Module 10 plazma kaynak makinesiyle farklı enerji girdileri uygulanarak ergitilmiştir. Farklı enerji girdisi için farklı akım değerleri ve ilerleme hızları seçimi yapılmıştır. Seçilen parametrelerin, kaplama tozu içinde ikinci bir bağlayıcı madde olmadığı için yüksek sıcaklıkta eriyen WC tozunu eritmeye yetecek kadar yüksek olması sağlanmıştır. Enerji girdisi değerleri Denklem 1'e göre hesaplanmıştır.

$$Q = I \times U \times \eta / V \quad (1)$$

Denklemde; Q: enerji girdisi (J/mm), I: ark akım değeri (A), U: ark gerilimi (V), V: PTA ilerleme hızı (mm/s) ve η : termal verimlilik katsayısı (PTA yöntemi için 0.6) değerleridir [22]. PTA Yüzey modifikasyon işlemlerine ait işlem parametreleri ve hesaplanan enerji girdisi değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Yüzey eritme işlemi sırasında ticari saflık Argon gazı hem koruyucu gaz hem de plazma gazı olarak kullanılmıştır. Elektrot iş parçası arası mesafe 2.5 mm olarak seçilmiştir.

Tablo 1. PTA işlem parametreleri

PTA işlem parametreleri	Değerler		
	S1	S2	S3
Ark Akımı (A)	90	100	100
İlerleme Hızı (mm/dk)	100	100	80
Ark Gerilimi (V)	22-25		
Tungsten Toryumlu Elektrot Çapı (mm)	2.4		
Koruyucu Gaz Akış Oranı (l/dk)	12		
Plazma Gaz Akış Oranı (l/dk)	0.5		
Elektrot İş Parçası Arası Mesafe (mm)	2.5		
Enerji Girdisi (kJ/mm)	0.713	0.9	1.125

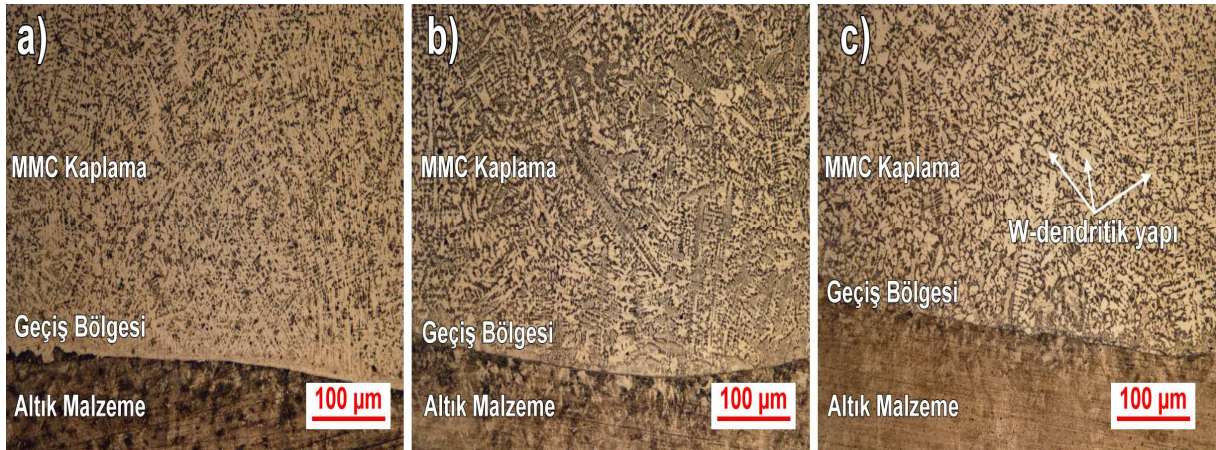
PTA yüzey alaşımlandırma işleminden sonra üretilen numunelerden mikroyapı, mikrosertlik ve aşınma numuneleri ıslak kesme yöntemi ile kesilmiştir. Numuneler 220 ve 600 grid manyetik zımpara diskleri ile zımparalanmış ve manyetik çuha ile 3 µm elmas solüsyon çözeltisi kullanılarak parlatılmıştır. Mikroyapı

numuneleri 1g CuCl₂+5ml HCl+40ml alkol çözeltisi ile dağlanmıştır. Optik mikroyapılar için Nikon Clemex, taramalı elektron mikroskobu görüntüleri ve EDS analizleri için JEOL JSM-5600LV cihazları kullanılmıştır. X ışınları kırınımı (XRD) analizleri Bruker D8 cihazında, Cu-K α radyasyonu, 30°–100° 2 teta açılarda ve 0,5 °/dk tarama hızında yapılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri Future Tech FM-700 cihazında 100 gf ve 10 sn bekleme sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Sertlik dağılımları yüzeyden altlık malzemeye doğru 100 μ m aralıklarla ölçüm alınarak belirlenmiştir. Aşınma deneyleri CSM tribometrede pim-disk yöntemi kullanılarak, ASTM G99 standartlarında yapılmıştır. Aşınma deneyleri öncesinde numunelerin yüzeyleri 0.2 μ m değerine kadar parlatılmıştır. Aşınma deneyleri oda sıcaklığında, 3N yük, 100 metre kuru kayma mesafesinde, 190 dev/dk dönüş hızında ve 3 mm çaplı WC aşındırıcı karşı cisime karşı yapılmıştır. Aşınma testleri sırasında mesafeye bağlı sürtünme katsayısı değerleri kaydedilmiştir. Aşınma kanalları yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı, SEM ve EDS analizleri ile incelenerek aşınma oranları hesaplanmış ve aşınma mekanizmaları araştırılmıştır.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

A. Mikroyapı İncelemeleri

PTA yöntemiyle farklı enerji girdileri kullanılarak üretilen kaplamaların optik mikroyapı görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir. Kaplama tabakalarında mikroyapısal kusur tespit edilmemiştir. PTA kaynak işlemi sırasında, MMK kaplamalarda alaşım tozları çözülerek, yüksek sıcaklıktaki plazmanın termal etkisi altında yeniden kristalleştirilir. Seçilen PTA enerji girdisinin sağladığı yüksek sıcaklık ile WC tozları büyük oranda çözülmüş ve yeniden kristalleşerek yeni fazların oluşumu sağlanmıştır. Oluşan yapılar kaplama tabakası içinde homojen olarak dağılmıştır. MMK kaplama tabakası ile altlık malzeme arasında oldukça ince bir geçiş bölgesi oluşmuştur. Geçiş bölgesi MMK kaplamanın altlık malzemeye güçlü metalürjik bağlar ile bağlandığını göstermektedir. Geçiş bölgeleri genel olarak düzlemsel bir yapıdadır. MMK kaplama tabakalarında enerji girdisi ile ergiyip katılan bölgeler soğuma yönüne bağlı olarak dendritik katılma göstermiştir. Yüksek soğuma hızı sayesinde kaplama tabakalarında üçüncül dendrit kolları oluşmamıştır. Ancak enerji girdisinin değişimi ana dendrit kollarının hacimsel büyüklüğünü etkilemiştir. Yüksek enerji kullanılarak işlem gören S3 numunenin dendrit kollarının hacimsel olarak büyüdüğü Şekil 1c'de görülmektedir. Daha düşük enerji girdisi kullanılan S1 numunesinde ise dendritik yapının oluşumu diğer numuneler kadar belirgin değildir.

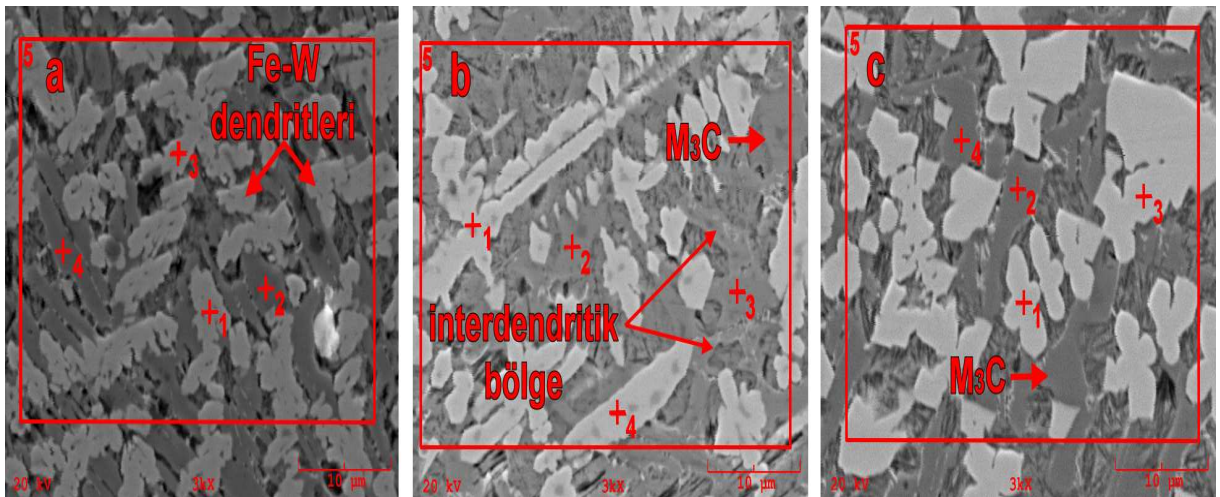


Şekil 1. WC-MMK kaplamaların genel mikroyapı görüntüsü: a) S1, b) S2, c) S3.

WC tozu ile elde edilen 3 adet MMK kaplama tabakasının mikroyapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) analizi ile incelenmiştir. Şekil 2'de verilmiş olan mikroyapıların SEM fotoğrafları ve Tablo 2'de verilen EDS analizleri incelendiğinde PTA işlemi sonrasında yüzeye büyük oranda W ve C elementi geçişi olduğu görülmektedir. Aynı zamanda altlık çelikten yüksek miktarda Fe elementi geçişi olmuştur. Bileşiminde W bulunmayan çelik altlık malzemesindeki elementel artış kaplama işleminin başarılı olduğunu göstermektedir. WC'lerin etrafına altlık malzemedeki difüze olan demir, Fe-W-C üçlü sisteminin oluşmasına neden olmuştur. PTA işlemi sırasında uygulanan enerji girdileri ile WC tozunun

ayrışması sağlanmış ve eriyip katılaştıran kaynak havuzunda yeni fazlar oluşmuştur. Bağlayıcı tozlar kullanılmadığı için çelik ve WC tozunun içeriğinin dışında herhangi bir element tespit edilmemiştir. Aynı zamanda kaynak havuzunu atmosferden korumak için seçilen argon gaz akış oranı yeterli olduğu için oksit ve benzeri yapılar tespit edilmemiştir. Enerji girdisi nedeniyle hızlı katılaşma sırasında oluşan dendrit kollarında yüksek W içeriği tespit edilmiştir. Bu dendrit kollarında soğuma hızının değişmesi nedeniyle farklı miktarlarda tungsten, karbon ve demir elementi içeriği tespit edilmiştir. Bu dendrit kollarında tungsten miktarı %68.5 ile %72.9 arasında değişmektedir. Dendritler arası bölgede farklı noktalardan yapılan analizlerde yapı içerisinde oldukça yüksek değerlerde demir ve tungsten içeriği tespit edilmiştir. Ayrıca bu bölgelerde karbon elementinin varlığı farklı birincil karbür yapılarının oluştuğunu göstermektedir (Şekil 2-a Nokta 2). Bu noktalardan yapılan EDS analizi Fe-W-C üçlü faz diyagramına [23] göre incelendiğinde yapının M_3C ($M=Fe$ ve W) olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca interdendritik bölgelerde ötektik iğnesel demir karbür yapılarının varlığı tespit edilmiştir. Enerji girdilerinin değişimi ile alaşımlandırma bölgesinde farklı katılaşma hızlarının bir sonucu olarak farklı bileşimlerde karbürler oluşmuştur. Ayrıca enerji girdisinin artması WC tozunun ayrışmasını artırmıştır. Bu nedenle yüksek enerji girdisi kullanılan S3 numunesinde dendritik yapıda en yüksek W içeriği (Şekil 2-c nokta 1) tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu numunenin dendritleri kısmen daha yoğun ve kaba kolonsal hale gelmiştir. Dendritik bölgede en düşük W içeriği (Şekil 2-b nokta 1) S2 numunesinde elde edilmiştir. Bu numunede W içeriği ilk katılaştıran dendritik bölgede azalmasıyla, interdendritik bölgede daha fazla M_3C fazları oluşturmuştur. S1 numunesinde ise enerji girdisi alaşım tozunu tam olarak ayrıştırmadığı için interdendritik bölgede oluşan M_3C fazlarında diğer numunelere oranla azalma tespit edilmiştir.

Kaplama tabakalarının genel optik mikroyapı görüntülerinden ImageJ görüntü analiz programı kullanılarak dendritik ve interdendritik bölgelerin oranları tespit edilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. MMK kaplamaların ana mikroyapısı kaplamanın üst yüzeyine doğru yönelmiş dendritik ve interdendritik yapılardan oluşmaktadır. Dendritik kollar WC'ün bozulması sonucunda oluşan yüksek W içerirken, interdendritik bölgeler yüksek Fe içeriği ile ötektik sert karbürlerin oluştuğu bölgedir. S1 numunesinde ise enerji girdisi alaşım tozunu tam olarak ayrıştırmadığı için dendritik bölgede oluşan ana Fe-W dendritleri nedeniyle interdendritik bölge azalmıştır. S3 numunesinde artan ısı girdisi ile numunenin daha yavaş soğuması dendrit kolların büyümesine neden olmuştur. Bu nedenle karbür içeren interdendritik bölgenin miktarı azalmıştır. S2 numunesinde en yüksek interdendritik bölge oranı belirlenmiştir. Bu numunenin de W içeriği ilk katılaştıran dendritik bölgede azalmasıyla, interdendritik bölgede oranı artmıştır.



Şekil 2. WC-MMK kaplamaların SEM mikroyapı görüntüsü: a) S1, b) S2, c) S3.

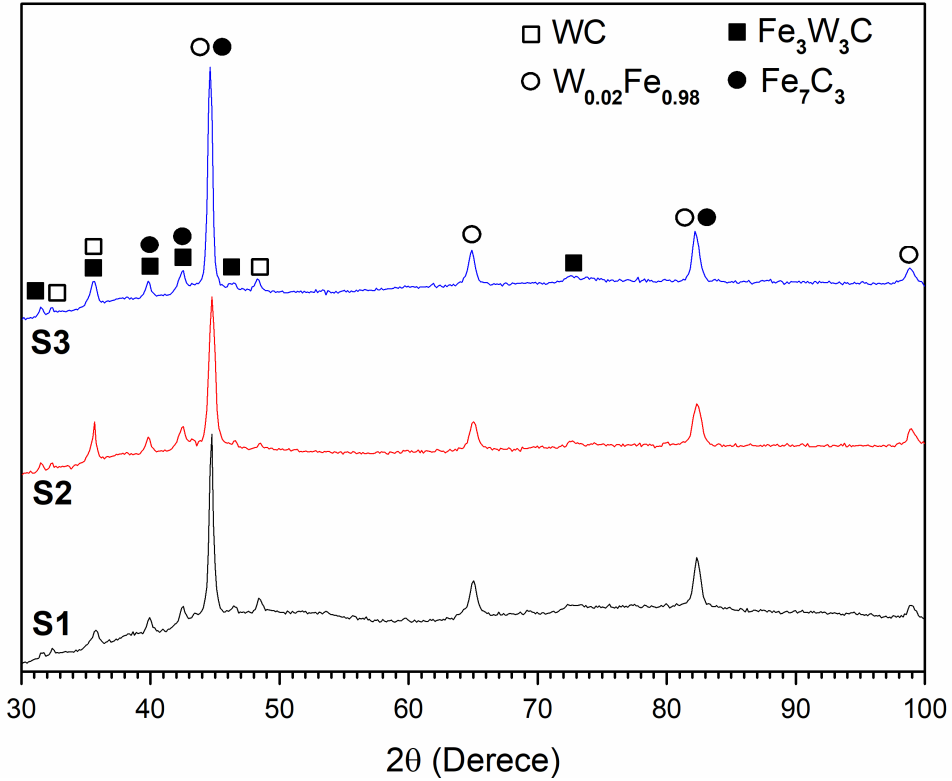
Tablo 2. MMK kaplamaların EDS analizi sonuçları

Numune	Spek.	% element						
		Fe	W	C	Mn	Si	V	Cr
S1	1	24.347	71.276	1.103	2.47	0.439	0.113	0.252
	2	74.244	21.799	1.752	1.275	0.536	0.071	0.324
	3	26.131	70.233	0.378	2.456	0.466	0.104	0.232
	4	74.971	21.157	1.882	1.305	0.295	0.217	0.173
	5	58.131	38.215	1.096	2.214	0.095	0.092	0.158
S2	1	27.263	68.482	0.683	2.59	0.572	0.165	0.245
	2	78.645	17.183	2.007	1.233	0.496	0.162	0.273
	3	77.593	17.436	2.697	1.254	0.62	0.053	0.346
	4	25.688	69.693	1.087	2.547	0.653	0.096	0.236
	5	52.982	43.401	1.203	1.375	0.779	0.028	0.232
S3	1	22.858	72.9	0.846	2.77	0.374	0.0	0.253
	2	70.213	25.811	1.872	1.424	0.253	0.133	0.295
	3	25.370	70.908	0.707	2.227	0.505	0.089	0.194
	4	72.733	23.297	1.592	1.243	0.774	0.027	0.294
	5	51.287	44.283	1.46	1.686	0.793	0.175	0.315

Tablo 3. MMK kaplamaların mikroyapı analiz sonuçları.

Numuneler	% değer	
	dendritik	interdendritik
S1	58.79	41.21
S2	54.19	45.81
S3	56.38	43.62

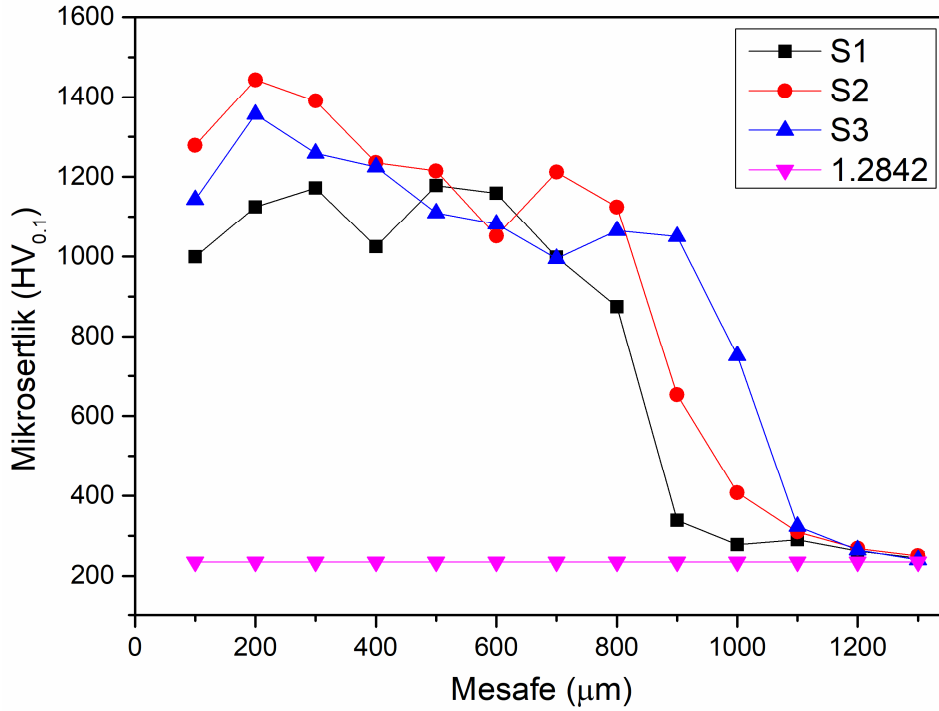
WC-MMK kaplamaların XRD analizi Şekil 3'te verilmiştir. PTA işlemi sırasında kaynak havuzunda oluşan yüksek sıcaklık sayesinde WC kaplama tozunun büyük bir kısmı W ve C elementlerine ayrılmıştır. WC parçacıklarının erimiş havuzda çözülmesi, matristeki W ve C zenginleşmesine yol açmış ve bu nedenle katılacak yapılar yeni fazlar oluşmuştur. XRD analizi sonuçlarına belirlenen fazlar $W_{0.02}Fe_{0.98}$ (PDF 00-051-0939), Fe_3W_3C (PDF 01-089-7205), WC (PDF 00-051-0939) ve Fe_7C_3 (PDF 00-017-0333) fazlarıdır. EDS ve XRD analizi birlikte incelendiğinde ana dendrit kollarının $W_{0.02}Fe_{0.98}$ bileşiği olduğu, karbür yapıların ise çoğunlukla interdendritik bölgede olduğu belirlenmiştir. Fe_3W_3C fazına ait XRD pikleri incelendiğinde en şiddetli pik yoğunluğunun S2 numunesinde olduğu görülmektedir. Bu durum mikroyapı incelemeleri ile uygun olarak en yüksek sert karbür oranına sahip olduğunu doğrulamaktadır. Aynı zamanda bu numuneye ait $W_{0.02}Fe_{0.98}$ pikinin diğer numunelerden daha az olduğu tespit edilmiştir. Mikroyapı incelemeleri ile birlikte değerlendirildiğinde bu numuneye ait işlem şartlarının WC tozunun PTA ile kaplanmasında, alaşım tozunun daha büyük bir kısmının sert karbür oluşumunu sağladığı için optimum değerler olduğu sonucuna varılabilir. S3 numunesinde yüksek enerji girişi nedeniyle dendritlerin büyümesi $W_{0.02}Fe_{0.98}$ pik şiddetinin artması ile XRD analizinde doğrulanmıştır. Bu nedenle W içerikli sert karbürlerin oranında bir miktar azalma belirlenmiştir. S1 numunesinde ise enerji girdisi tam olarak WC tozunun ayrışmasını sağlayamadığı için interdendritik bölgede W içerikli sert karbür oluşumu için gerekli elementlerin miktarının diğer numunelerden daha az olmasına neden olmuştur. Bu numunede interdendritik bölgenin diğer numunelerden daha küçük olduğu sonucuyla uyumlu olarak, XRD analizinde Fe_3W_3C pik şiddetinin azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 3. WC-MMK kaplamaların XRD analizi sonuçları.

B. Mikrosertlik Sonuçları

Yüzeyden altlık malzemeye doğru ölçülen mikrosertlik değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Sertlik değeri, altlık çelik malzemenin sertliğinden oldukça yüksektir. Sert W içerikli karbürlerin yüksek konsantrasyonu, kaplama tabakalarındaki yüksek sertliğinin ana nedeni olmuştur. WC'lerin oluşturduğu yüksek sertlikteki interdendritik bölgedeki M_3C ($M= Fe, W$) ve Fe_7C_3 karbürleri kaplama bölgesinin tüm tabakalarına dağıldığı için sertlik değerlerinde yüksek dalgalanmalar görülmemiştir. WC-MMK kaplamada sertlik değerleri yüzeyden altlık malzemeye doğru azalma eğilimindedir. S3 numunesinde yüksek enerjisi nedeniyle sert bölgelerin derinliği diğer numunelerden daha fazladır. S1 numunesinde ise düşük enerji girdisi nedeniyle sertleşmiş tabakaların derinliği diğer numunelerden daha azdır. PTA işlemi sırasında enerji girdisi aşımlandırılan bölgenin derinliği arttırmıştır. Aşımlandırılan bölgelerden sonra sertlik değerlerinde ciddi bir azalma tespit edilmiştir. Bu geçiş bölgelerinde enerji girdisi nedeniyle sertlik değerleri, altlık malzemenin sertliğinden biraz daha yüksektir. Sadece kaplama tabakalarındaki sertlik değerleri göz önüne alındığında S1 numunesinin ortalama sertliği 1066.3 $HV_{0.1}$, S2 numunesinin ortalama sertliği 1178.3 $HV_{0.1}$ ve S3 numunesinin ortalama sertliği 1103.8 $HV_{0.1}$ olarak hesaplanmıştır. En yüksek sertlik değerine sahip S2 numunesinin değeri altlık malzemenin ortalama sertlik değerininin (235 HV) yaklaşık 5 katıdır. Numuneler arasında en yüksek sertlik değeri S2 numunesinde 1443.3 $HV_{0.1}$ olarak ölçülmüştür. S2 numunesinde en yüksek interdendritik bölge oranı belirlenmiştir. Bu numunenin W içeriği ilk katlaşan dendritik bölgede azalmasıyla, interdendritik bölgede oranı artmıştır ve bu bölgede yoğun M_3C ($M= Fe, W$) karbür yapısı oluşturmuştur. M_3C ($M= Fe, W$) karbür yapısı en yüksek sertlik değerlerinin ana nedenidir [20]. Yüzeyden altlık malzemeye doğru sertlik değerlerinde az olsa da bir dalgalanma belirlenmiştir. Bunun nedeni demir matrisinin belirli yerlerinde oluşan farklı tipteki ve boyuttaki demir ve tungsten içerikli birincil karbürlerin varlığıdır. WC-MMK kaplama katmanlarında, sertlik değerleri birbirine oldukça yakın olarak ölçülmüştür. Bu durumun ana nedeni ise yapının aynı fazlardan oluşmasıdır. Ancak enerji girdisi nedeniyle fazların dağılımdaki değişiklikler sertlik değerlerinin değişmesine neden olmuştur. Kaplama kalınlığının arttırılması istendiğinde enerji girdisinin artırılması gerekirken, kaplama tabakasında daha yüksek sertlik değeri arzu edildiğinde S2 numunesine ait işlem şartlarının uygun değerler olduğu belirlenmiştir.

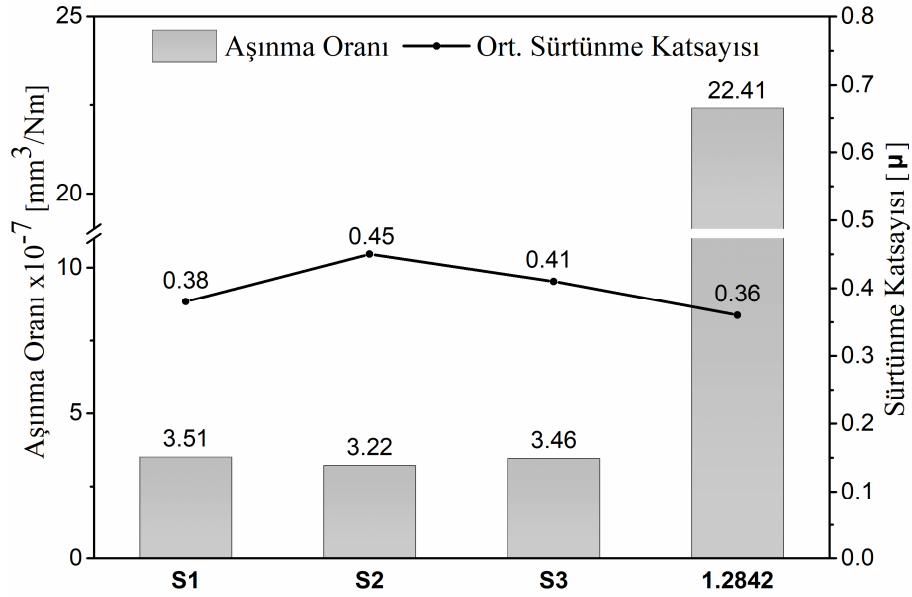


Şekil 4. WC-MMK kaplamaların mikrosertlik dağılımları.

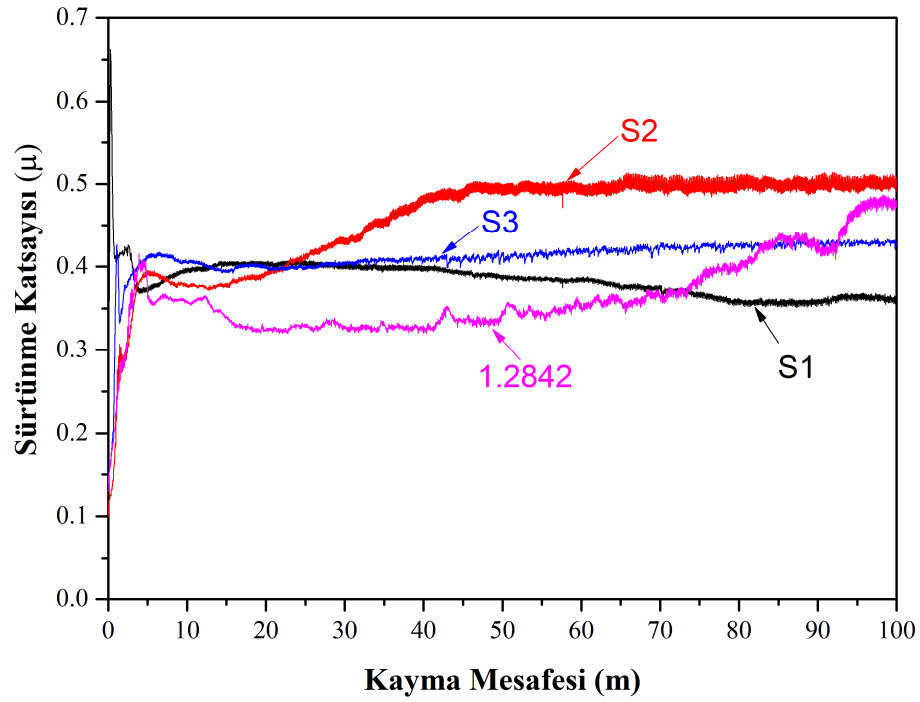
C. MMK Kaplamaların Sürtünme ve Aşınma Davranışları

WC-MMK kaplamaların ortalama sürtünme katsayısı değerleri ve aşınma oranları Şekil 5’te verilmiştir. Kuru kayma test koşullarında, WC-MMK kaplamalar takım çeliğinden oldukça üstün aşınma davranışı göstermiştir. WC-MMK kaplamalar ile aşınma oranı 6.4 ile 7 kat azaltılmıştır. Bu sonuçlar, önemli derecede geliştirilmiş tribolojik davranışın mikroyapıda oluşan WC, M₃C (M= Fe, W) ve Fe₇C₃ sert karbürlerinin neden olduğuna işaret etmektedir. Kompozit kaplama numunelerinin ortalama sürtünme katsayısı değerleri, deney koşullarında 0.38 ile 0.41 arasında değişirken, altlık malzemenin ortalama sürtünme katsayısı 0.36 olarak ölçülmüştür. Farklı enerji girdileri ile PTA işlemi uygulanmış numunelerde farklı sürtünme katsayısı değerleri tespit edilmiştir.

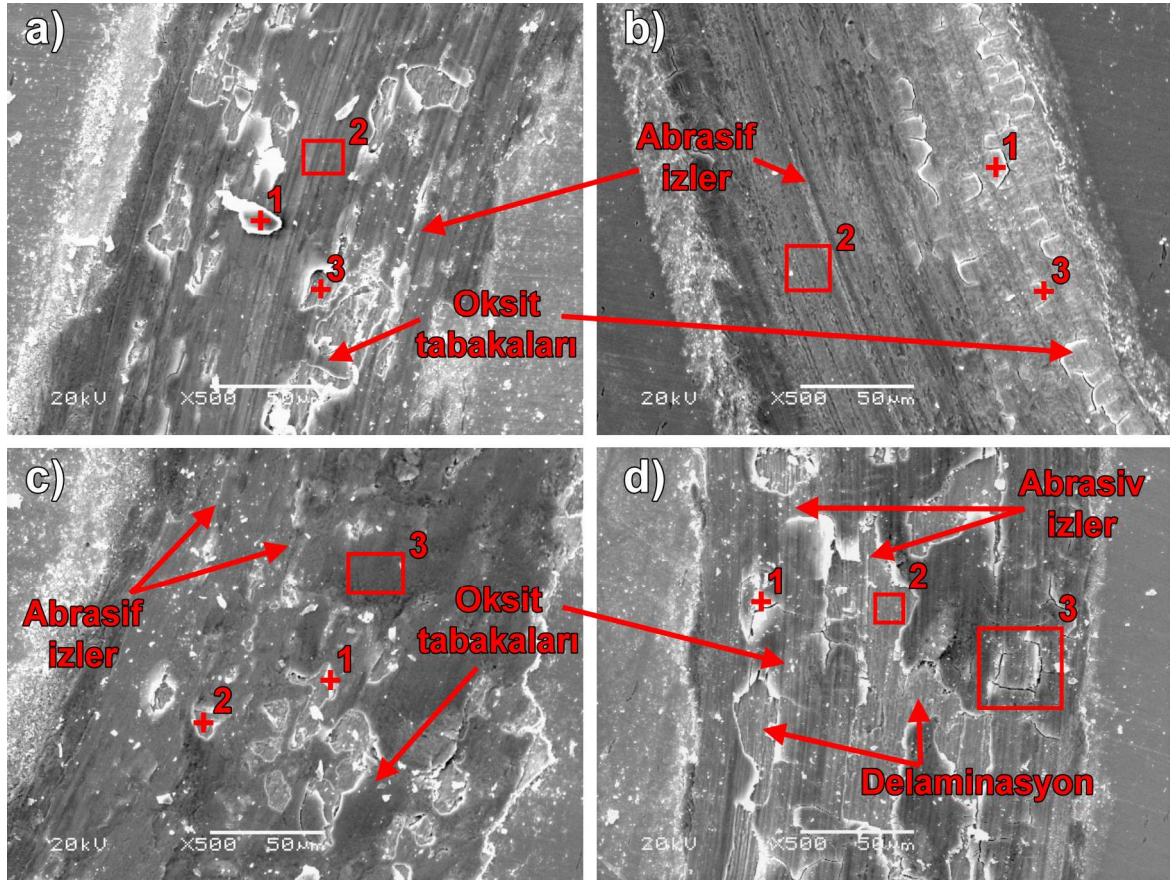
Numunelerin kuru kayma mesafesine bağlı sürtünme katsayısı değişim grafiği Şekil 6’da verilmiştir. Aşınma kanallarının SEM görüntüleri Şekil 7’de ve EDS analizi sonuçları Tablo 4’te verilmiştir. Altlık çelik malzemenin sürtünme katsayısı değerleri yaklaşık 70 metre aşınma mesafesine kadar en düşük değerde iken bu mesafeden sonra artma eğilimine girmiştir. Bu numunenin aşınma kanallından alınan SEM ve EDS analizi sonuçlarına (Şekil 7-d) göre yüzeyde Fe ve W içerikli tribo-oksit tabakaları belirlenmiştir. Bu oksit tabakaları tribolojik sistemde sürtünme katsayısını düşürmüş ve artan kayma mesafelerinde ve test yükünün etkisiyle kırılıp, yüzeyden ayrılarak geniş delaminasyon bölgeleri oluşturmuştur. Oluşan delaminasyon bölgeleri gerçek metal-metal temas alanını azalttığı için sürtünme katsayısını daha da düşürmüştür. Ancak 70 metrelik aşınma mesafesinden sonra kırılan oksit tabakaları temas ara yüzeyinde kalarak sürtünmenin artmasına ve değerlerin dalgalanmasına neden olmuştur. S2 numunesinin sürtünme katsayısı mesafe diyagramı incelendiğinde yaklaşık 45 metreden sonra sürtünme katsayısının kararlı hale geçtiği belirlenmiştir. Bu numunenin aşınmış yüzey SEM ve EDS analizi (Şekil 7-b) incelendiğinde, oluşan Fe ve W içerikli oksit tabakaların aşınma yüzeyine tam olarak yayılmadığı ve kırılmadan yüzeye tutunduğu tespit edilmiştir. Oluşan oksit tabakaları temas yüzeyini tam olarak kaplamadığı için tribolojik sistemde metal-metal teması nedeniyle, bu numunede en yüksek sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5. Numunelerin aşınma oranları ve ortalama sürtünme katsayısı gösterimi değerleri.



Şekil 6. Numunelerin kuru kayma mesafesine bağlı sürtünme katsayısı değişimi.



Şekil 7. Numunelerin aşınma kanallarının SEM görüntüsü: a) S1, b) S2, c) S3, d) Altlık malzeme.

Tablo 4. MMK kaplamaların EDS analizi sonuçları.

Numune	Spek.	% element							
		Fe	W	C	Mn	Si	Cr	V	O
S1 (a)	1	64.039	24.591	0.825	1.569	0.281	0.29	0.089	8.316
	2	71.129	14.853	0.572	1.706	0.314	0.249	0.184	10.993
	3	80.313	10.428	0.47	1.264	0.152	0.271	0.072	7.032
S2 (b)	1	45.191	43.697	0.433	1.95	0.085	0.209	0.187	8.249
	2	78.967	15.847	0.826	1.955	0.186	0.218	0.012	1.99
	3	62.363	27.048	0.729	1.457	0.212	0.304	0.081	7.771
S3 (c)	1	69.651	11.372	0.857	1.483	0.271	0.298	0.165	15.902
	2	79.716	9.171	1.16	1.443	0.165	0.175	0.178	7.992
	3	67.219	13.885	0.807	1.373	0.204	0.169	0.154	16.189
1.2842 (d)	1	66.684	9.982	1.098	1.912	0.198	0.22	0.109	19.796
	2	92.665	2.282	0.958	1.987	0.315	0.383	0.193	1.217
	3	77.794	10.332	0.783	1.231	0.248	0.224	0.117	9.271

S3 numunesinin sürtünme katsayısı mesafe diyagramından yaklaşık 10 metrelik kayma mesafesinden sonra kararlı hale geçiş görülmektedir. Bu numunenin aşınmış yüzey SEM ve EDS analizinde (Şekil 7-c) yüzeyde kalın oksit tabakalarının olduğu ve oldukça az miktarda delaminasyon bölgesi içerdiği tespit edilmiştir. Oluşan kalın oksit tabakaları artan kayma mesafesi ile kırılmadan yüzeyde kalmış ve kararlı hal sürtünme katsayısı elde edilmiştir. S1 numunesinin kayma mesafesi yaklaşık 35 metre üzerine çıktığında

sürtünme katsayısı değerleri azalma eğilimine girmiştir. Bu numunenin aşınmış yüzey SEM ve EDS analizi incelendiğinde (Şekil 7-a) Fe ve W içerikli kalın oksit tabakalarının oluştuğu ve bu oksit tabakalarının kırılarak delaminasyona neden olduğu tespit edilmiştir. Oluşan oksit tabakaları altlık malzemeye göre daha kalın ve kompleks olduğu için, artan kayma mesafelerinde ve aşınma yükü etkisi ile daha az kırılmıştır. Bu nedenle tribolojik sisteme daha az kırılan oksit partikülleri dahil olmuştur. Bu numunede oluşan oksit tabakaları ve delaminasyon etkisiyle, sürtünme katsayısı 100 metre kayma mesafesine kadar azalma eğilimi göstermiştir.

Numunelerin aşınma kanallarında abrasif aşınma izleri ve tribo-oksit tabakaları Şekil 7'de açıkça görülmektedir. WC-MMK kaplamaların aşınma kayıpları sert karşı cismin mikro-kazıma mekanizmasıyla yüzeyi aşındırması ve tribokimyasal reaksiyonlar sonrası oluşan oksitlerin test yükü ve artan kayma mesafelerinin etkisiyle yüzeyden ayrılması ile gerçekleşmiştir. WC-MMK kaplamaların mikroyapı incelemelerinde WC, M₃C (M= Fe, W) ve Fe₇C₃ karbürleri belirlenmiştir. Bu yüksek sertlikteki karbürlerin abrasif aşınma direnci ile aşınma miktarını büyük oranda azaltmıştır. Farklı enerji girdileri kullanılarak elde edilen kaplama tabakalarındaki karbür miktarı ve dağılımları abrasif aşınma dirençlerini etkileyerek, numunelerin tribolojik özelliklerini değiştirmiştir.

Çelik altlık malzemenin aşınmış yüzey SEM fotoğrafları (Şekil 7-d) incelendiğinde abrasif aşınma izleri ve oksit tabakaları görülmektedir. Bu numune kaplama tabakalarına göre daha düşük sertlikte olduğu için abrasif aşınma miktarı artmıştır. Aynı zamanda aşınma yüzeyinde oluşan tribo-oksit tabakaları artan kayma mesafeleri ve test yükünün etkisi ile kırılıp yüzeyden ayrıldığında, temas noktalarında kalıntı partiküller olarak davranmıştır. Bu partiküller, 3 cisimli abrazyona neden olduğu için aşınmayı daha şiddetlendirmiştir. Bu nedenle altlık malzemenin genel aşınma mekanizması abrasif ve oksidatif aşınmadır. S1 numunesinin mikroyapı incelemelerinde belirlenen sert karbürler altlık çeliğe göre aşınma direncini büyük ölçüde artırmıştır. S3 numunesinde de benzer aşınma ve sürtünme davranışları elde edilmiştir. Ayrıca aşınmış yüzeyde Fe ve W içerikli oksit tabakalarının artan aşınma mesafelerinde tekrarlı yüklerle kırılması ve yüzeyden tabakalar halinde ayrılması sonucunda aşınma oranını bir miktar arttırmıştır. Bu nedenle S1 ve S3 numunesinde gerçek temas alanını kısmen azaltması nedeniyle sürtünme katsayısı değerleri S2 numunesine göre azalmış olsa da, yüzeyden ayrılan oksit tabakalarının 3 cisimli abrazyona neden olduğu için aşınma miktarı artırmıştır. S1 ve S3 numunelerinin mikrosertlik incelemeleriyle uyumlu olarak, S3 numunesin abrasif aşınma direnci bir miktar daha yüksektir. Bu nedenle S1 numunesi göre daha düşük aşınma oranı sergilemiştir. S1 ve S3 numunelerinin ana aşınma mekanizması abrasif ve oksidatif aşınma olarak tespit edilmiştir. En düşük aşınma oranı S2 numunesinde elde edilmiştir. Bu numunenin aşınma kanalları incelendiğinde (Şekil 7-b) diğer numunelere göre oldukça az tribo-oksit tabakaları belirlenmiştir. Oksit tabakaları aşınma kanalının belli bölgelerinde oluşmuş ve aşınma testi boyunca yüzeyden ayrılmadan kalmıştır. Bu nedenle bu numunenin sürtünme katsayısı diyagramında dalgalanma gözlenmemiştir. Oksit tabakaları yüzeyden ayrılmadığı için 3 cisimli abrazyon etkisi oldukça azdır. Bu numunenin ana aşınma mekanizması sert karşı cismin abrasif etkisine dayanmaktadır. Bu numunede mikroyapı incelemeleri sonucunda belirlenen M₃C (M= Fe, W) gibi sert karbür yapısının yoğunluğu daha fazla olduğu için numunenin abrasif aşınma direnci artırmıştır. S2 numunesinde oksidatif aşınma etkisi oldukça azdır. Bu nedenle ana aşınma mekanizması abrasif aşınmadır. Seçilen enerji girdilerine göre S2 numunesin işlem şartları, aşınma direnci için uygun değer olarak belirlenmiştir.

IV. SONUÇLAR

WC tozu kullanılarak takım çeliğinin üzerinde farklı enerji girdilerinde PTA yöntemi ile MMK kaplamalar başarı ile üretilmiştir. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir:

- Bağlayıcı kullanılmadan WC tozunun PTA yöntemi ile kullanılmasında belirli yükseklikte enerji girdisine ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji girdisinin değişimi ana dendrit kollarının hacimsel büyüklüğünü etkilemiştir.
- WC-MMK kaplama tabakalarının mikroyapı incelemeleri ile ana dendrit kollarının yüksek demir ve tungsten içerikli olduğu ve karbür yapıların ise çoğunlukla interdendritik bölgede olduğu belirlenmiştir. XRD analizi sonuçlarına göre, W_{0.02}Fe_{0.98} (PDF 00-051-0939), Fe₃W₃C (PDF 01-089-7205), WC (PDF 00-051-0939) ve Fe₇C₃ (PDF 00-017-0333) fazları oluşmuştur.

- S2 numunesinde W içeriği ilk katılan dendritik bölgede azalır, interdendritik bölgede artarak yoğun M_3C (M= Fe, W) karbür yapısı oluşturmuştur. S1 numunesinde ise enerji girdisi alayım tozunu tam olarak ayrıştırmadığı için dendritik bölgede oluşan ana Fe-W dendritlerin nedeniyle interdendritik bölge azalmıştır. S3 numunesinde artan ısı girdisi ile numunenin daha yavaş soğuması dendrit kolların büyütürük interdendritik bölgenin bir miktar azalmasına neden olmuştur.
- İnterdendritik bölgede oluşan sert karbürler, mikrosertlik değerlerinde önemli artışa neden olmuştur. WC-MMK kaplamalar ile altlık malzemenin sertliği 5 kata kadar artırılabilmiştir. En yüksek ortalama sertlik değeri 1178.3 HV_{0.1} olarak S2 numunesinde belirlenmiştir. PTA enerji girdisi artırıldığında sertleşen bölgenin derinliği artmıştır.
- WC-MMK kaplamaların mikroyapısında oluşan WC, M_3C (M= Fe, W) ve Fe_7C_3 sert karbürler sayesinde, aşınma direnci 6.4 ile 7 kat artırılmıştır. WC-MMK kaplamaların ana aşınma mekanizması abrasif ve oksidatif aşınma olmuştur. S2 numunenin yüksek karbür oranının sağladığı sertlik aşınma oranını azaltmıştır.
- WC-MMK kaplamalarda seçilen 3 farklı enerji girdisi değerleri; mikroyapı, sertlik, sürtünme ve aşınma özelliklerini oldukça etkilemiştir. WC-MMK kaplama tabakalarında yüksek aşınma direnci arzu edildiğinde 3 farklı enerji girdisi içinden, 0.9 kJ/mm enerji girdisi değeri deneysel çalışmalar sonucunda optimum olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Wang, J., Zhang, B., Yu, Y., Zhang, Z., Zhu, S., Lou, X., & Wang, Z. (2020). Study of high temperature friction and wear performance of (CoCrFeMnNi)85Ti15 high-entropy alloy coating prepared by plasma cladding. *Surface and Coatings Technology*, 384.
- [2] Yi, P., Liu, Y., Shi, Y., Jang, H., & Lun, G. (2011). Investigation on the process of laser surface melting using two sequential scans. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 57, (1-4), 225-233.
- [3] Maleque, M. A., Ghazal, B. A., Ali, M. Y., Hayyan, M., & Ahmed, A. S. (2015). Wear Behaviour of TiC Coated AISI 4340 Steel Produced by TIG Surface Melting. *Materials Science Forum*, 819, 76-80.
- [4] Acevedo-Dávila, J. L., Muñoz-Arroyo, R., Hdz-García, H. M., Martínez-Enriquez, A. I., Alvarez-Vera, M., & Hernández-García, F. A. (2017). Cobalt-based PTA coatings, effects of addition of TiC nanoparticles. *Vacuum*, 143, 14-22.
- [5] Gür, A. K., Cengiz, M. H., Yıldız, T., & Taşkaya, S. (2018). Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemiyle Hardox 400 Çelik Malzemenin Yüzeyinin Farklı Oranlardaki FeCrC Tozuyla Alayımlandırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30, (1), 233-242.
- [6] Dai, W., Miao, Y., Li, J., Zheng, Z., Zeng, D., & Huang, Q. (2016). Investigation on morphology and micro-hardness characteristic of composite coatings reinforced by PTA copper alloying on nodular cast iron. *Journal of Alloys and Compounds*, 689, 680-692.
- [7] Buytoz, S., Orhan, A., Gur, A. K., & Caligulu, U. (2013). Microstructural Development of Fe–Cr–C and B4C Powder Alloy Coating on Stainless Steel by Plasma-Transferred Arc Weld Surfacing. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38, (8), 2197-2204.
- [8] Liu, T., Chang, M., Cheng, X., Zeng, X., Shao, H., & Liu, F. (2020). Characteristics of WC reinforced Ni-based alloy coatings prepared by PTA + PMI method. *Surface and Coatings Technology*, 383,
- [9] Yang, J., Liu, F., Miao, X., & Yang, F. (2012). Influence of laser cladding process on the magnetic properties of WC–FeNiCr metal–matrix composite coatings. *Journal of Materials Processing Technology*, 212, (9), 1862-1868.

- [10] Yao, S. H. (2014). Tribological behaviour of NiCrBSi–WC(Co) coatings. *Materials Research Innovations*, 18, (sup2), S2-332-S2-337.
- [11] Chang, S.-H. & Chang, P.-Y. (2014). Investigation into the sintered behavior and properties of nanostructured WC–Co–Ni–Fe hard metal alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 606, 150-156.
- [12] Kılıçay, K. (2017). *Mikroalaşımli 38MnVS6 çeliğine uygulanan farklı yüzey ve ısı işlemlerin mekanik özelliklerine etkilerinin araştırılması*. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [13] Ulutan, M., Kılıçay, K., Çelik, O. N., & Er, Ü. (2016). Microstructure and wear behaviour of plasma transferred arc (PTA)-deposited FeCrC composite coatings on AISI 5115 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 236, 26-34.
- [14] Yuan, Y. & Li, Z. (2017). Microstructure and tribology behaviors of in-situ WC/Fe carbide coating fabricated by plasma transferred arc metallurgic reaction. *Applied Surface Science*, 423, 13-24.
- [15] Liyanage, T., Fisher, G., & Gerlich, A. P. (2012). Microstructures and abrasive wear performance of PTAW deposited Ni–WC overlays using different Ni-alloy chemistries. *Wear*, 274-275, 345-354.
- [16] Yuan, Y., Wu, H., You, M., Li, Z., & Zhang, Y. (2019). Improving wear resistance and friction stability of FeNi matrix coating by in-situ multi-carbide WC-TiC via PTA metallurgical reaction. *Surface and Coatings Technology*, 378,
- [17] Zhang, M., Li, M., Chi, J., Wang, S., Ren, L., Fang, M., & Zhou, C. (2019). Microstructure evolution, recrystallization and tribological behavior of TiC/WC composite ceramics coating. *Vacuum*, 166, 64-71.
- [18] Sundaramoorthy, R., Tong, S. X., Parekh, D., & Subramanian, C. (2017). Effect of matrix chemistry and WC types on the performance of Ni-WC based MMC overlays deposited by plasma transferred arc (PTA) welding. *Wear*, 376-377, 1720-1727.
- [19] Çelik, O. N. (2013). Microstructure and wear properties of WC particle reinforced composite coating on Ti6Al4V alloy produced by the plasma transferred arc method. *Applied Surface Science*, 274, 334-340.
- [20] Wei, Y., Wei, X.-s., Chen, B., Zuo, J.-y., Ma, T.-c., & Shen, J. (2018). Parameter optimization for tungsten carbide/Ni-based composite coating deposited by plasma transferred arc hardfacing. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 28, (12), 2511-2519.
- [21] Erkendirici, Ö. F. (2012). Effect of the Inclined Edge Notches on the Fatigue-Fracture Behavior of Soft Annealed and Quenched AISI O2 Tool Steel. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 65, (4), 399-404.
- [22] Gür, A. K. (2013). Investigating the Wear Behaviour of FeCrC/B4C Powder Alloys Coating Produced by Plasma Transferred Arc Weld Surfacing Using the Taguchi Method. *Materials Testing*, 55, (6), 462-467.
- [23] Hiroaki, O., Mark E., S., & Erik M., M. (1992). *ASM Handbook Volume 3: Alloy Phase Diagrams*. ASM International, 512.

Derleme Makalesi - Review Article

Bazı Ultranormlu Uzaylar ve İzomorfikliği

İbrahim ŞANLIBABA^{1*}

Geliş / Received: 04/03/2020

Revize / Revised: 28/05/2020

Kabul / Accepted: 01/06/2020

ÖZ

Bu çalışmada metrik uzaylar, ultrametrik uzayları, normlu uzaylar ve ultranormlu uzaylar tanıtılıp aralarındaki ilişkiler ve örnekleri gösterildi. Ultranormlu uzaylarda izometri ve ultra izometri tanımları yapıldı. Sonra bazı ultranormlu uzaylara örnekler verilip ultra Banach uzay olduğu ve izomorfik olduğu gösterildi.

Anahtar Kelimeler- Ultrametrik, Ultranorm, Krull Özelliği, Ultra İzometri, Ultra Banach Uzayları.

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ibrahimsanlibaba@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-8801-464X>)
Matematik Bölümü, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir.

The Some Ultranorm Spaces and Isomorphicity

ABSTRACT

In this study metric spaces, ultrametric spaces, normed spaces and ultranormed spaces are introduced and their relations between each other and examples are shown. Isometry and ultra isometry are defined in ultranormed spaces. Then some example of ultra-normed spaces are given and it is shown to be ultra Banach space and is isomorphic.

Keywords- Ultrametric, Ultranorm, Krull Sharpening, Ultra Isometry, Ultra Banach Spaces.

I. GİRİŞ

Bu çalışmada ultrametrik uzay kavramının belirteci olan üçüncüsü aksiyomun $d(x, y) \leq \max\{d(x, z), d(z, y)\}$ alınmasıyla oluşturulmuş metriğe ultrametrik ismi verilmiş ayrıca ilginç, dikkat çekici neticeler çıkarılmıştır. Sonra ultrametrik ile metrik uzayları, ultranormlu ile normlu uzayları ve ilişkileri gösterilmiştir. Bu aksiyom ile ultrametrik uzayları, ultranormu, ultrametrik Banach uzaylarını ve ultrametrik Banach uzaylarının değişik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca Diagona, Krull, Ludkovsky ve Şanlıbaba [1,2,3,4] ultrametrik uzayların yapılarını, bu uzaylara örnekleri ve kapsama durumlarını göstermişlerdir. Sonuç olarak bazı farklı yapılar ve uzaylar ortaya çıkarılmış, tanımlamaları ve örnekleri açıklanmıştır.

II. TEMEL TANIM VE TEOREMLER

Tanım 2.1. X bir küme olmak üzere ve X üzerinde tanımlı $d: X \times X \rightarrow \mathbb{R}$ bir d fonksiyonu verilmek üzere $\forall x, y, z \in X$ için d fonksiyonu M1- M3 aksiyomlarını sağlıyorsa d fonksiyonuna metrik, (X, d) ikilisine de metrik uzay denir.

$$(M1) \quad d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y$$

$$(M2) \quad d(x, y) = d(y, x) \text{ (Simetri)}$$

$$(M3) \quad d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y) \text{ (Üçgen eşitsizliği)}$$

Pozitif olan $d(x, y)$ ile gösterilen negatif olmayan reel sayısına x ile y arasındaki uzaklık denir [5].

Ultrametrik uzaylar aslında metrik uzayların daha özel hali olup aşağıda tanımı gösterilecek ve karşılaştırmalar yapılacak, ultrametriklere örnekler verilecektir.

Tanım 2.2. X bir küme ve $\forall x, y, z \in X$ için $d_u: X \times X \rightarrow \mathbb{R}$ fonksiyonu verilsin. d_u fonksiyonu;

$$(UM1) \quad d_u(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y$$

$$(UM2) \quad d_u(x, y) = d_u(y, x) \text{ (Simetri)}$$

$$(UM3) \quad d_u(x, y) \leq \max\{d_u(x, z), d_u(z, y)\} \text{ (Güçlü üçgen eşitsizliği)}$$

koşullarını sağlıyorsa d_u' ya ultrametrik, (X, d_u) veya ultrametrik uzay, (UM1), (UM2) ve (UM3) şartlarını da ultrametrik uzay aksiyomları denilir.

Metrik ve ultrametrik koşulları incelenirse (UM1) aksiyomu (M1) aksiyomu ile, (UM2) aksiyomu (M2) aksiyomu ile aynıdır. Ultrametrik üçüncü aksiyomda $d(x, y) \leq \max\{d(x, z), d(z, y)\}$ eşitsizliğinde maksimum değer $d(x, z)$ olursa $d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y)$ eşitsizliğin sağlandığı açıktır. Diğer durumda maksimum değer $d(z, y)$ olarak seçilirse aynı şekilde $d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y)$ eşitsizliği yine korunur. Sonuç olarak (UM3) eşitsizliğinden (M3) eşitsizliği elde edilir. Diğer taraftan her zaman (M3) den (UM3) elde edilemeyeceğinden her metrik uzay bir ultrametrik uzay değildir. Dolayısıyla her ultrametrik uzay bilinen anlamda metrik uzay olur fakat tersi olmayabilir.

$d: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ ve $d(x, y) = |x - y|$ olarak tanımlanan \mathbb{R} deki doğal metriği düşünecek olunursa d 'nin M1-M3 koşullarını sağladığı açık olarak görülür. Gerçekten de mutlak değer metriği ile \mathbb{R} gözönüne alındığında $x = -2, y = -5, z = -3$ alarak $d(x, y) = 3, d(x, z) = 1, d(z, y) = 2$ olup güçlü üçgen eşitsizliğinin sağlanmadığı görülebilir. Dolayısıyla d, \mathbb{R} de bir metrik olduğu halde (UM3) koşulunu sağlamadığından ultrametrik olmaz. Sonuçta (\mathbb{R}, d) ultrametrik uzay değildir.

Şimdi takip eden teorem verilebilir:

Teorem 2.1. Bütün ultrametrik uzaylar aslında bir metrik uzaydır fakat her metrik uzay bir ultrametrik uzay olmayabilir.

Örnek 1. $X \neq \emptyset$ bir küme verilmiş olmakla birlikte, $X \times X \rightarrow \mathbb{R}$

$$d_u(x, y) = \begin{cases} 0, & x = y \\ 1, & x \neq y \end{cases} \text{ şeklinde tanımlanan} \quad (1)$$

d_u fonksiyonu X de bir ultrametrikdir [6], [7].

Tanım 2.3. X kümesi verilsin ve X in birimi θ ile gösterilmiş olan $\forall x \in X$ için $0 + x = 0$ olmak üzere X kümesinde toplama ve skalarla çarpma işlemleri tanımlansın.

$\forall x, y \in X$ ve $\forall \alpha \in \mathbb{C}$ olacak şekilde $g: X \rightarrow \mathbb{R}$ fonksiyonu

$$(UN1) \quad g(x) = 0 \Leftrightarrow x = \theta$$

$$(UN2) \quad g(\alpha x) = |\alpha| g(x)$$

$$(UN3) \quad g(x + y) \leq \max\{g(x), g(y)\}$$

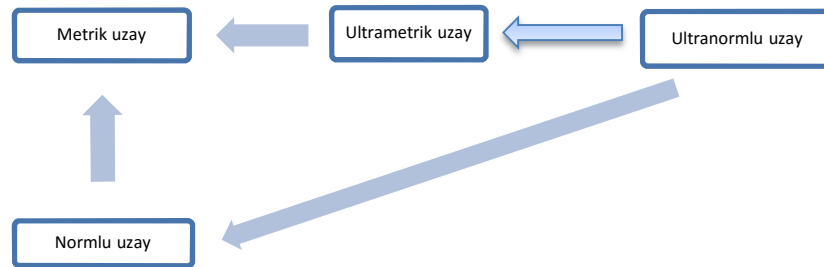
koşullarını sağlarsa g fonksiyonuna X de ultranorm denir. Norm ve ultranorm aksiyomları karşılaştırıldığında (UN3) ve (N3) aksiyomları birbirinden ayrı olduğu gözlemlenir.

$g(x + y) \leq \max\{g(x), g(y)\}$ eşitsizliği $g(x + y) \leq g(x) + g(y)$ eşitsizliğini gerektirirken $g(x + y) \leq g(x) + g(y)$ eşitsizliği $g(x + y) \leq \max\{g(x), g(y)\}$ eşitsizliğini gerektirmez. Böylece her ultranorm bir normdur fakat tersi doğru değildir.

Her normun bir metrik olduğu bilinen bir önermedir. Benzer şekilde ultrametrik ve ultranorm içinde durum aynıdır. Yani “Her ultranorm bir ultrametrikdir” [6].

Sonuç olarak normlu uzayların birinci ve ikinci şartı ile ultranormlu uzayların birinci ve ikinci şartı aynıdır. Yine normlu uzayların üçüncü şartı olan üçgen eşitsizliği koşulunun $\|x + y\| \leq \max\{\|x\|, \|y\|\}$ eşitsizliği var iken sağlandığı ama $\|x + y\| \leq \|x\| + \|y\|$ eşitsizliğinin var olmasının $\|x + y\| \leq \max\{\|x\|, \|y\|\}$ eşitsizliğinin mevcut olmasını gerektirmeyeceği görülür. Dolayısıyla “Her ultranormlu uzay normlu uzaydır, tersine her normlu uzay ultranormlu uzay olmayabilir” önermesi verilebilir.

Buraya kadar anlatılanları ve ilişkilerini aşağıdaki diyagram özetler:



Diyagram 1. Metrik ve Ultrametrik Uzay, Normlu ve Ultranormlu Uzay İlişkileri arasındaki bağıntıyı gösteren diyagram

Tanım 2.4. Bir X ultranormlu (Arşimedyan olmayan) lineer uzayı tam ise X uzayına Ultra Banach uzayı ya da Arşimedyan olmayan Banach uzayı denir.

Tanım 2.5. X bir normlu uzay ve $\forall x, y \in X$ olsun. $\|x\| \neq \|y\|$ olduğunda $\|x + y\| \leq \max(\|x\|, \|y\|)$ eşitsizliği sağlanıyorsa $\|\cdot\|$ ye Krull özelliğine sahiptir denir [2].

III. BAZI ULTRANORMLU UZAYLAR VE İZOMORFİKLİKLERİ

Tanım 3.1. $T: X \rightarrow Y$ dönüşümü verilsin. X ve Y , K cismi üzerinde ultranormlu uzaylar olsun. $\forall x \in X$ olmak üzere;

$$\|T(x)\| = \|x\|$$

eşitliği varsa kısacası ultranormu koruyorsa, T nin bir ultra izometri olduğu söylenir.

K cismi üzerinde X ve Y ultranormlu uzaylar olarak verilsin. $T: X \rightarrow Y$ dönüşümü lineer, birebir, örten ve izometri mevcutsa X ve Y uzaylarına ultra izometrik olarak ultra izomorftir denir ayrıca bu durum $X_u \cong Y_u$ ile ifade edilir.

K bir cisim olmak üzere $\forall x, y \in K$ için $|\cdot|: K \rightarrow \mathbb{R}$ fonksiyonu (d3)' ultrametrik 3. şartı olan $|x + y| \leq \max\{|x|, |y|\}$ eşitsizliğini sağlasın. $\forall k \in \mathbb{N}$ için $(\rho_k); \mathbb{R}^+ - 0$ biçiminde (ρ_k) dizisi sınırlı bir dizi ve I da bir indis kümesi olacak şekilde, K de;

$$l_\infty(I, K, \rho) = \{x = (x_k) \in K: \sup_{k \in \mathbb{N}} |x_k| \rho_k < \infty\}$$

kümesini tanımlayalım.

$$\|\cdot\|: l_\infty(I, K, \rho) \rightarrow \mathbb{R}$$

$$x \rightarrow \|x\| = \sup_k |x_k| \rho_k$$

Yukarıda tanımlanan $\|\cdot\|$ fonksiyonu verilmiş olsun. $(l_\infty(I, K, \rho), \|\cdot\|)$ çifti ultranormlu Banach uzayıdır. Benzer biçimde;

$$c_0(I, K, \rho) = \{x = (x_k) \in K: \lim_k |x_k| \rho_k = 0\} \text{ ve } c(I, K, \rho) = \{x = (x_k) \in K: \lim_k |x_k| \rho_k \text{ mevcut}\}$$

kümelere de $\|x\| = \sup_k |x_k| \rho_k$ ile beraber Arşimedyen olmayan Banach uzaylarıdır [1,8,9,10].

$l_\infty(I, K, \rho)$ ultra sınırlı dizilerin uzayı, $c_0(I, K, \rho)$ ultra sıfıra yakınsak dizilerin uzayı, $c(I, K, \rho)$ ultra yakınsak dizilerin uzayı olarak isimlendirilir.

Aşağıda yalnız $l_\infty(I, K, \rho)$ ultra sınırlı dizisinin ultra Banach uzayı olduğu gösterilecek olup diğerleri de benzer şekilde gösterilebilir.

i) Ultranorm olduğu gösterilir.

$$(un1) \|x\| = \sup_k |x_k| \rho_k = 0 \Leftrightarrow |x_k| \rho_k = 0 \Leftrightarrow |x_k| = 0 \Leftrightarrow x_k = 0 \Leftrightarrow x = 0,$$

$$(un2) \|\alpha x\| = \sup_k |\alpha x_k| \rho_k = |\alpha| \sup_k |x_k| \rho_k = |\alpha| \|x\| \text{ dir.}$$

$$\begin{aligned} (un3) \|x + y\| &= \sup_k |x_k + y_k| \rho_k \leq \sup_k \{\max\{|x_k| \rho_k, |y_k| \rho_k\}\} \\ &= \sup_k \{\max\{|x_k + \theta| \rho_k, |y_k + \theta| \rho_k\}\} \\ &\leq \sup_k \{\max\{\max\{|x_k| \rho_k, \theta\}, \max\{|y_k| \rho_k, \theta\}\}\} \\ &= \max\{\sup_k \{\max\{|x_k| \rho_k, \theta\}\}, \sup_k \{\max\{|y_k| \rho_k, \theta\}\}\} \\ &= \max\{\sup_k d(x_k, \theta), \sup_k d(y_k, \theta)\} = \max\{\|x\|, \|y\|\}. \end{aligned}$$

Dolayısıyla $l_\infty(I, K, \rho)$ ultranormlu uzayıdır.

ii) Tam olduğu ispatlanır.

Varsayalım ki (x^n) , $l_\infty(I, K, \rho)$ de bir Cauchy dizisi olarak verilsin. (x^n) in sabit bir dizi olması durumunda tamlık açıktır.

Diğer durumda (x^n) in sabit bir dizi olmadığı düşünülürse bu takdirde $m, n \geq n_0$ olmak üzere

$$\|x^m - x^n\| = \sup_{k \in I} |x_k^m - x_k^n| \rho_k < \varepsilon \quad (*)$$

için gerçekleşir.

Öyle ki $\varepsilon > 0$ ve $k = 1, 2, \dots$ olacak şekilde keyfi lakin sabit her k için $m, n \geq n_0$ iken $|x_k^m - x_k^n| < \varepsilon$ elde edilir ve bir n_0 tam sayısının var olduğu gözlemlenir. Diğer taraftan her sabit k için $(x_k^1, x_k^2, x_k^3, \dots)$ K ' de bir Cauchy dizisidir. K tam olduğu bilindiğine göre $(x_k^m) \rightarrow x_k \in K$ yazılabilir. k doğal sayısının her bir değeri için elde edilecek limitler yardımıyla K ' de $x = (x_1, x_2, \dots)$ dizisi teşkil edilir.

$$x_1 = (x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1, \dots)$$

$$x_2 = (x_1^2, x_2^2, \dots, x_n^2, \dots)$$

$$x_3 = (x_1^3, x_2^3, \dots, x_n^3, \dots)$$

⋮

$$x_k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k, \dots)$$

⋮

$$x_m = (x_1^m, x_2^m, \dots, x_n^m, \dots)$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \dots \quad \downarrow \dots$$

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n, \dots)$$

Burada ise $x \in l_\infty(I, K, \rho)$ ve $n \rightarrow \infty$, $x_n \rightarrow x$ olduğu gösterilecektir. (*) ifadesinde $n \rightarrow \infty$ yapılırsa

$$\|x_k^n - x_k\|_{l_\infty(I, K, \rho)} < \varepsilon \text{ elde edilir.}$$

$x_n = (x_k^n) \in l_\infty(I, K, \rho)$ varlığından $k = 1, 2, \dots$ için $\|x_k^n\| \leq t_n$ olmak üzere bir t_n reel dizisi vardır.

Güçlü üçgen eşitsizliğinden;

$$\|x_k\| \rho_k = \|x_k - x_k^n + x_k^n\| \rho_k \leq \max\{\|x_k - x_k^n\|, \|x_k^n\|\} \rho_k \leq \max\{\varepsilon, t_n\} M < \infty.$$

Yukarıdaki eşitsizliğe bakıldığında her k sayısı için geçerlidir. Ayrıca eşitsizliğin sağ tarafı k ' yi

içermediğinden $(x_k) \in l_\infty(I, K, \rho)$ dir. $l_\infty(I, K, \rho)$ ultra Banach uzayıdır.

$$\text{Şimdi } Z: \tilde{l}_\infty(I, K, \rho) \rightarrow l_\infty(I, K, \rho)$$

$$x \rightarrow Zx = y, \quad y = y_k$$

$$y_k = px_k + (1 - p)x_{k-1} \text{ dönüşümü kullanılırsa görülür ki } \tilde{l}_\infty(I, K, \rho) \text{ ile } l_\infty(I, K, \rho) \text{ uzayları ultra}$$

izometriktir ve ultra izomorfiktir.

i) Z nin lineer olduğu gösterilir.

$$\forall \alpha \in K \text{ ve } \forall x, y \in \tilde{l}_\infty(I, K, \rho) \text{ için}$$

$$\begin{aligned} Z(x + y) &= p(x_k + y_k) + (1 - p)(x_{k-1} + y_{k-1}) \\ &= px_k + py_k + (1 - p)x_{k-1} + (1 - p)y_{k-1} \\ &= px_k + (1 - p)x_{k-1} + py_k + (1 - p)y_{k-1} \\ &= Z(x) + Z(y) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z(\alpha x) &= p(\alpha x_k) + (1 - p)(\alpha x_{k-1}) \\ &= \alpha(px_k + (1 - p)x_{k-1}) = \alpha Z(x) \text{ dir.} \end{aligned}$$

ii) Z nin örten olduğu gösterilir.

$$Z: \tilde{l}_\infty(I, K, \rho) \rightarrow l_\infty(I, K, \rho)$$

$$x \rightarrow Zx = y, \quad y = y_k$$

$$x = Z^{-1}y \text{ iken } \tilde{l}_\infty(I, K, \rho) \text{ da her } x = (x_k) = \sum_{j=0}^k (-1)^{k-j} \frac{(1-p)^{k-j}}{p^{k-j+1}} y_j$$

$l_\infty(I, K, \rho)$ da yukarıdaki yazılan formda bir y elemanı bulunur ki, Z nin örtenliği ispatlanmış olur.

iii) Z nin ultra izometri yani ultranormu koruduğu gösterilir.

$$x_k = \sum_{j=0}^k (-1)^{k-j} \frac{(1-p)^{k-j}}{p^{k-j+1}} y_j \text{ dizisini tanımlayalım.}$$

$$\begin{aligned} \|x\| &= \sup_k |px_k + (1 - p)x_{k-1}| \rho_k \\ &= \sup_k \left| p \sum_{j=0}^k (-1)^{k-j} \frac{(1-p)^{k-j}}{p^{k-j+1}} y_j + (1-p) \sum_{j=0}^k (-1)^{k-j} \frac{(1-p)^{k-j}}{p^{k-j+1}} y_j \right| \rho_k \\ &= \sup_k |y_k| \rho_k = \sup_k |Zx| \rho_k = \|Zx\|_{\lambda(I, K, \rho)} \text{ dir.} \end{aligned}$$

İzometrik dönüşümlerin 1:1 bir dönüşüm olduğu bilindiğinden dolayı bu durum ultra izometri içinde geçerliliği açıktır, tekrar gösterime gerek olmadığından Z birebirdir.

Dolayısıyla Z dönüşümü lineer, birebir, örten ve ultranormu koruyan ultra izometrik dönüşümdür. Özetle $\tilde{l}_\infty(I, K, \rho)$ ile $l_\infty(I, K, \rho)$ lineerdir ve ultra izometrik olarak ultra izomorfik uzaylardır. Şayet $\rho_k = 1$ alınması halinde $c_0(I, K, \rho)$ uzayı c_0 sifıra yakınsak dizilerin uzayına, $c(I, K, \rho)$ de c yakınsak dizilerin uzayına son olarak da $l_\infty(I, K, \rho)$ bilinen anlamıyla l_∞ sınırlı dizilerin uzayına dönüştükleri görülür.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada ultrametrik, ultranorm, ultra Banach uzayları incelenmiş, teoremler ve örnekler verilmiştir. Sonuç olarak ultrametrik uzayların metrik uzaylar tarafından kapsanan daha spesifik yapılar olduğu gözlemlenmiş ve metrik uzaylarda var olan özelliklerin tamamının ultrametrik uzaylarda mevcut olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca ultrametrikler daha özel oldukları için şaşırtan bazı sonuçlara ulaşılmıştır. Son bölümde ise ultra Banach uzayına örnekler verilmiş, ispatlanmış ve ultra izomorfik olduğu gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Diagana, T. (2006). An Introduction to Classical and p-ADIC Theory of Linear Operators and Applications, by Nova Science Publishers Inc, ISBN 1-59454-424-7, New York.

- [2] Krull, W. (1998). Ultrametric Triangle Inequality. *Planet Math, Göttingen 1959*. Li, G., Hart, A. ve Gregory, J., *Flocculation and sedimentation, 295*, Technomics Press. Lancaster PA.
- [3] Ludkovsky, S., and Diarra, B. (2002). *Spectral Integration and Spectral Theory for Non-Arcimedean Banach Spaces* IJMMS 31,7, 421-442.
- [4] Şanlıbaba, I. (2014). *Ultrametric Banach space isomorphic to new spaces*, Master's thesis. Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Nevşehir.
- [5] Bayraktar, M. (2006). *Fonksiyonel Analiz. Gazi Kitabevi*. Ankara.
- [6] Nesin, A. (2012). *Analiz IV*. Nesin Matematik Köyü, İstanbul.
- [7] Gajic, L. (2001). *On Ultrametric Space*, *Novi Sad J. Math.* 31, 2, 69-71.
- [8] Diagana, T. (2006). c_0 - *Semigroups of Linear Operators on some Ultrametric Banach Space*. IJMMS, DOI10. 1155/2006/52398.
- [9] Diagana, T. (2007). *Non-Arcimedean Linear Operators and Applications*, by Nova Science Publishers Inc. ISBN 1-60021-405-3, New York.
- [10] Diarra B. (1998). *An Operator on Ultrametric Hilbert Spaces*. *Journal of Analysis* 6, 55-74.
- [11] Kaplansky, I. (1972). *Set Theory and Metric Spaces*. AMS Chelsea Publishing, ISBN 0-8218-2694-8.
- [12] Perez-Garcia, C., Schikhof, W. H. (2010). *Locally Convex Spaces over Non-Archimedean Valued Fields*. Cambridge University Press, 978-0-521-19243-9.
- [13] Havinga, M. (2011). *Ultrametric Matrices*, *Korteweg-de Vries Institute for Mathematics Faculty of Science*. 5-14, 13.

Araştırma Makalesi - Research Article

İki SUR Model Altında Ön Tahmin Edicilerin Kovaryans Matrisleri Üzerine Bazı Notlar

Nesrin Güler^{1*}, Nevin Yüce²

Geliş / Received: 17/12/2019

Revize / Revised: 10/04/2020

Kabul / Accepted: 24/05/2020

ÖZ

Görünürde ilişkisiz regresyon (SUR) modelleri denklemler arasında hataların ilişkili olduğu çoklu regresyon denklemlerinin ele alındığı lineer regresyon modellerinin uzantılarıdır. Bu çalışmada, SUR modelleri altında ön tahmin problemi ele alınmıştır. İki SUR modeli altında tüm bilinmeyen vektörlerin en iyi lineer yansız ön tahmin edicilerinin (BLUP'larının) istatistiksel özellikleri üzerine çeşitli sonuçlar verilmiştir. Özellikle, matrislerin bazı rank formülleri kullanılarak iki model altında BLUP'ların kovaryans matrisleri üzerine bazı sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- BLUP, Kovaryans matrisi, Rank, SUR model

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: nesring@sakarya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3233-5377>)

Department of Statistics, Sakarya University, Sakarya, 54187, Turkey

²İletişim: yuce.nevin@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-2967-2930>)

Department of Mathematics, Sakarya University, Sakarya, 54187, Turkey

Some Notes on Covariance Matrices of Predictors under two SUR Models

ABSTRACT

Seemingly unrelated regression (SUR) models are extensions of linear regression models by considering multiple regression equations with correlated errors among equations. In this study, prediction problem under SUR models are considered. Several results are given on statistical properties of the best linear unbiased predictors (BLUPs) of all unknown vectors under two SUR models. Especially, some results established on covariance matrices of BLUPs under two models by using some rank formulas of matrices.

Keywords- BLUP, Covariance matrix, Rank, SUR model

I. INTRODUCTION

Several number of models with individual relations with each other can encounter in some statistical problems. These models can have correlated error terms among each other although they look like unrelated if the same data or an amount of same independent variables are used for the models. For example, we can consider the problem of investment on some companies at the same industry. Each company can be affected by similar cases under the same periods. In this case, it can be expected that error terms of set of models may be simultaneously correlated. Seemingly unrelated regression (SUR) models are consider multiple regression equations having correlation in error terms. They have attracted considerable interest in recent years; see e.g., [1-4], since these models were proposed by Zellner [5]. The method for joint estimation of unknown parameters by combining the equations was given by [5-7]. For the related topic; see, e.g., [8-13].

Consider a pair of SUR models formulated by

$$\mathcal{M}_1: y_1 = X_1\beta_1 + \varepsilon_1, E(\varepsilon_1) = 0, D(\varepsilon_1) = \sigma_{11}I_n := \Sigma_{11}, \quad (1)$$

$$\mathcal{M}_2: y_2 = X_2\beta_2 + \varepsilon_2, E(\varepsilon_2) = 0, D(\varepsilon_2) = \sigma_{22}I_n := \Sigma_{22}, \quad (2)$$

which are based on the equation

$$y_{ij} = x_{ij1}\beta_{i1} + \dots + x_{ijp_i}\beta_{ip_i} + \varepsilon_{ij}, \quad (3)$$

where $y_i = (y_{ij}) \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ is an observable random vector, $X_i = (x_{ijt}) \in \mathbb{R}^{n \times p_i}$ is a known matrix of arbitrary rank, $\beta_i = (\beta_{ij}) \in \mathbb{R}^{p_i \times 1}$ is an unknown parameter vector, and $\varepsilon_i = (\varepsilon_{ij}) \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ is an error vector with $cov(\varepsilon_i, \varepsilon_k) = \sigma_{ik}I_n := \Sigma_{ik}$ for $i, k = 1, 2, j = 1, 2, \dots, n$, and $t = 1, \dots, p_i$.

In order to establish some results on predictions/estimations of all unknown parameters under models \mathcal{M}_1 and \mathcal{M}_2 we can consider the following general linear function

$$\phi_i = K_i\beta_i + H_i\varepsilon_i \quad (4)$$

for given matrices $K_i \in \mathbb{R}^{k \times p_i}$ and $H_i \in \mathbb{R}^{k \times n}$, $i = 1, 2$. According to the assumptions in (1) and (2),

$$E(\phi_i) = K_i\beta_i, D(\phi_i) = H_i\Sigma_{ii}H_i', \text{ and } cov(\phi_i, y_i) = H_i\Sigma_{ii}, \quad (5)$$

$i = 1, 2$. The parameter vector ϕ_i in (4) is said to be predictable under \mathcal{M}_i if there exists a linear statistic $L_i y_i$ with $L_i \in \mathbb{R}^{k \times n}$ such that $E(L_i y_i - \phi_i) = 0$ holds; see [14], this is equivalently written as

$$\mathcal{C}(K_i') \subseteq \mathcal{C}(X_i'), \quad (6)$$

$i = 1, 2$. (6) also corresponds the estimability condition of $K_i\beta_i$ under \mathcal{M}_i ; see [15]. Let ϕ_i be predictable under \mathcal{M}_i . If there exists $L_i y_i$ such that

$$D(L_i y_i - \phi_i) = \min \text{ subject to } E(L_i y_i - \phi_i) = 0 \quad (7)$$

holds in the Löwner partial ordering, the linear statistic $L_i y_i$ is defined to be the best linear unbiased predictor (BLUP) of ϕ_i , a term introduced by Goldberger [16], and is denoted by $L_i y_i = \text{BLUP}_{\mathcal{M}_i}(\phi_i) = \text{BLUP}_{\mathcal{M}_i}(K_i\beta_i + H_i\varepsilon_i)$, $i = 1, 2$. If $H_i = 0$, BLUP of ϕ_i reduces to the best linear unbiased estimator (BLUE) of $K_i\beta_i$ under \mathcal{M}_i , expressed as $L_i y_i = \text{BLUE}_{\mathcal{M}_i}(\phi_i) = \text{BLUE}_{\mathcal{M}_i}(K_i\beta_i)$.

Prediction problems under SUR models are one of the main subjects in the statistical inference of the models. The best known predictors/estimators of unknown vectors in the models are the BLUPs/BLUEs. In this

study, we consider two SUR models and give some results on covariance matrices between BLUPs of all unknown vectors under these models in theoretical point of view. Characterization of statistical properties of BLUPs under considered models involves some complex matrix expressions. Therefore, we use some matrix rank formulas for simplifying heavy matrix operations while establishing results.

Throughout this paper, the symbol $\mathbb{R}^{m \times n}$ stands for the set of all $m \times n$ real matrices. For $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$, the notations A' , $r(A)$, and $\mathcal{C}(A)$, denote the transpose, the rank, and the column space of A , respectively. I_m denotes the identity matrix of order m . The Moore-Penrose generalized inverse of A denoted by A^+ , is defined to be the unique solution G satisfying the four matrix equation $AGA = A$, $GAG = G$, $(AG)' = AG$, $(GA)' = GA$. Furthermore, $P_A = AA^+$, $E_A = A^\perp = I_m - AA^+$, and $F_A = I_n - A^+A$ stand for the orthogonal projectors.

II. FORMULAS FOR BLUPs UNDER TWO SUR MODELS

In this section, firstly we give some rank formulas of matrices. Then we give fundamental BLUP equation of ϕ_i and related properties of BLUPs. In what follows, it is assumed that the model \mathcal{M}_i is consistent, i.e., $y_i \in \mathcal{C}[X_i \ \Sigma_{ii}]$ with probability 1, $i = 1, 2$; see [17].

The well-known formulas for rank of matrices collected in the following lemma; see [18].

Lemma 1 Let $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $B \in \mathbb{R}^{m \times k}$, $C \in \mathbb{R}^{l \times n}$, and $D \in \mathbb{R}^{l \times k}$. Then

$$(a) \ r[A \ B] = r(A) + r(E_A B) = r(B) + r(E_B A),$$

$$(b) \ r \begin{bmatrix} A \\ C \end{bmatrix} = r(A) + r(CF_A) = r(C) + r(AF_C),$$

$$(c) \ \text{If } \mathcal{C}(B) \subseteq \mathcal{C}(A) \text{ and } \mathcal{C}(C') \subseteq \mathcal{C}(A'), \text{ then } r \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = r(A) + r(D - CA^+B).$$

The following lemma on BLUP for ϕ_i under model \mathcal{M}_i is derived from Theorem 3.2 in [19].

Lemma 2 Let ϕ_i be predictable under \mathcal{M}_i . Then

$$L_i y_i = \text{BLUP}_{\mathcal{M}_i}(\phi_i) \Leftrightarrow L_i [X_i \ \Sigma_{ii} X_i^\perp] = [K_i \ H_i \Sigma_{ii} X_i^\perp]. \quad (8)$$

General solution of this equation and corresponding BLUP of ϕ_i is

$$L_i y_i = \text{BLUP}_{\mathcal{M}_i}(\phi_i) = ([K_i \ H_i \Sigma_{ii} X_i^\perp] [X_i \ \Sigma_{ii} X_i^\perp]^\perp + U_i [X_i \ \Sigma_{ii} X_i^\perp]^\perp) y_i, \quad (9)$$

where $U_i \in \mathbb{R}^{k \times n}$ is arbitrary, $i = 1, 2$. Further, $\text{BLUP}_{\mathcal{M}_i}(\phi_i)$ satisfies the following statements

$$D[\text{BLUP}_{\mathcal{M}_i}(\phi_i)] = [K_i \ H_i \Sigma_{ii} X_i^\perp] [X_i \ \Sigma_{ii} X_i^\perp]^\perp + \Sigma_{ii} ([K_i \ H_i \Sigma_{ii} X_i^\perp] [X_i \ \Sigma_{ii} X_i^\perp]^\perp)', \quad (10)$$

$$\text{cov}[\text{BLUP}_{\mathcal{M}_i}(\phi_i), \phi_i] = [K_i \ H_i \Sigma_{ii} X_i^\perp] [X_i \ \Sigma_{ii} X_i^\perp]^\perp + \Sigma_{ii} H_i', \quad (11)$$

$$D[\phi_i - \text{BLUP}_{\mathcal{M}_i}(\phi_i)] = ([K_i \ H_i \Sigma_{ii} X_i^\perp] W_i^+ - H_i) \Sigma_{ii} ([K_i \ H_i \Sigma_{ii} X_i^\perp] W_i^+ - H_i)', \quad (12)$$

where $W_i = [X_i \ \Sigma_{ii} X_i^\perp]$, $i = 1, 2$. Furthermore, the following statements hold.

$$(a) \ r[X_i \ \Sigma_{ii} X_i^\perp] = r[X_i \ \Sigma_{ii}], \ \mathcal{C}[X_i \ \Sigma_{ii} X_i^\perp] = \mathcal{C}[X_i \ \Sigma_{ii}], \text{ and } \mathcal{C}(X_i) \cap \mathcal{C}(\Sigma_{ii} X_i^\perp) = \{0\},$$

$$(b) \ \text{BLUP}_{\mathcal{M}_i}(\phi_i) \text{ is unique with probability 1} \Leftrightarrow y_i \in \mathcal{C}[X_i \ \Sigma_{ii}] \text{ with probability 1,}$$

(c) L_i is unique $\Leftrightarrow r[X_i \ \Sigma_{ii}] = n, i = 1, 2$.

We note that BLUP of ϕ_i and ordinary least square predictor (OLSP) of ϕ_i coincide since $\Sigma_{ii} = \sigma_{ii}I_n, i = 1, 2$. Then the results in Lemma 2 reduce the following results, for details, see; [18].

$$L_i y_i = \text{BLUP}_{\mathcal{M}_i}(\phi_i) = (K_i X_i^+ + H_i X_i^\perp) y_i, \quad (13)$$

$$D[\text{BLUP}_{\mathcal{M}_i}(\phi_i)] = \sigma_{ii}(K_i X_i^+ + H_i X_i^\perp)(K_i X_i^+ + H_i X_i^\perp)', \quad (14)$$

$$\text{cov}[\text{BLUP}_{\mathcal{M}_i}(\phi_i), \phi_i] = \sigma_{ii}(K_i X_i^+ + H_i X_i^\perp) H_i', \quad (15)$$

$$D[\phi_i - \text{BLUP}_{\mathcal{M}_i}(\phi_i)] = \sigma_{ii}(K_i X_i^+ - H_i P_{X_i})(K_i X_i^+ - H_i P_{X_i})'. \quad (16)$$

III. COVARIANCE MATRIX BETWEEN BLUPs UNDER TWO SUR MODELS

In this section, by presenting general approach to SUR models, we give the main result on the covariance matrices between BLUPs of unknown vectors under models \mathcal{M}_1 and \mathcal{M}_2 . Then, we give some consequences which correspond special cases.

Theorem 1 Assume that ϕ_1 and ϕ_2 is predictable under models \mathcal{M}_1 and \mathcal{M}_2 , respectively, i.e., (6) holds. Let denote

$$M = \begin{bmatrix} \Sigma_{12} & \Sigma_{11} & X_1 & 0 & 0 \\ \Sigma_{22} & 0 & 0 & X_2 & 0 \\ X_2' & 0 & 0 & 0 & K_2' - X_2' H_2' \\ 0 & X_1' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_1 - H_1 X_1 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (17)$$

Then

$$r(\text{cov}\{\phi_1 - \text{BLUP}_{\mathcal{M}_1}(\phi_1), \phi_2 - \text{BLUP}_{\mathcal{M}_2}(\phi_2)\}) = r(M) - r[X_1 \ \Sigma_{11}] - r[X_2 \ \Sigma_{22}] - r(X_1) - r(X_2). \quad (18)$$

Furthermore, $\phi_1 - \text{BLUP}_{\mathcal{M}_1}(\phi_1)$ and $\phi_2 - \text{BLUP}_{\mathcal{M}_2}(\phi_2)$ are uncorrelated if and only if

$$r(M) = r[X_1 \ \Sigma_{11}] + r[X_2 \ \Sigma_{22}] + r(X_1) + r(X_2). \quad (19)$$

Proof. From (10) - (12), we can write

$$\begin{aligned} r(\text{cov}\{\phi_1 - \text{BLUP}_{\mathcal{M}_1}(\phi_1), \phi_2 - \text{BLUP}_{\mathcal{M}_2}(\phi_2)\}) \\ = r\left(\left([K_1 \ H_1 \Sigma_{11} X_1^\perp] W_1^+ - H_1\right) \Sigma_{12} \left([K_2 \ H_2 \Sigma_{22} X_2^\perp] W_2^+ - H_2\right)'\right), \end{aligned} \quad (20)$$

where $W_i = [X_i \ \Sigma_{ii} X_i^\perp], i = 1, 2$. We can apply Lemma 1(c) to (20). Then we obtain

$$r(\text{cov}\{\phi_1 - \text{BLUP}_{\mathcal{M}_1}(\phi_1), \phi_2 - \text{BLUP}_{\mathcal{M}_2}(\phi_2)\})$$

$$\begin{aligned}
 &= r \begin{bmatrix} \Sigma_{12} & \Sigma_{12}([K_2 \ H_2 \Sigma_{22} X_2^\perp] W_2^+ - H_2)' \\ [(K_1 \ H_1 \Sigma_{11} X_1^\perp) W_1^+ - H_1] \Sigma_{12} & 0 \end{bmatrix} - r(\Sigma_{12}) \quad (21) \\
 &= r \left(\begin{bmatrix} \Sigma_{12} & -\Sigma_{12} H_2' \\ -H_1 \Sigma_{12} & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Sigma_{12} & 0 \\ 0 & [K_1 \ H_1 \Sigma_{11} X_1^\perp] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & W_1^+ \\ W_2' & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Sigma_{12} & 0 \\ 0 & [K_2 \ H_2 \Sigma_{22} X_2^\perp]' \end{bmatrix} \right) \\
 &\quad - r(\Sigma_{12}).
 \end{aligned}$$

We can reapply Lemma 1 (c) to (21) since $\mathcal{C}([K_i \ H_i \Sigma_{ii} X_i^\perp]') \subseteq \mathcal{C}(W_i')$ and $\mathcal{C}(\Sigma_{ij}) \subseteq \mathcal{C}(W_i)$ hold. Then by using Lemma 1 and simplifying elementary block matrix operations, we obtain

$$\begin{aligned}
 &r(\text{cov}\{\phi_1 - \text{BLUP}_{\mathcal{M}_1}(\phi_1), \phi_2 - \text{BLUP}_{\mathcal{M}_2}(\phi_2)\}) \\
 &= r \begin{bmatrix} 0 & -X_1 & -\Sigma_{11} X_1^\perp & \Sigma_{12} & 0 \\ -X_2' & 0 & 0 & 0 & K_2' \\ -X_2^\perp \Sigma_{22} & 0 & 0 & 0 & X_2^\perp \Sigma_{22} H_2' \\ \Sigma_{12} & 0 & 0 & \Sigma_{12} & -\Sigma_{12} H_2' \\ 0 & K_1 & H_1 \Sigma_{11} X_1^\perp & -H_1 \Sigma_{12} & 0 \end{bmatrix} - r \begin{bmatrix} 0 & [X_1 \ \Sigma_{11} X_1^\perp] \\ [X_2 \ \Sigma_{22} X_2^\perp]' & 0 \end{bmatrix} - r(\Sigma_{12}) \\
 &= r \begin{bmatrix} -\Sigma_{12} & -X_1 & -\Sigma_{11} X_1^\perp & \Sigma_{12} H_2' \\ -X_2' & 0 & 0 & K_2' \\ -X_2^\perp \Sigma_{22} & 0 & 0 & X_2^\perp \Sigma_{22} H_2' \\ H_1 \Sigma_{12} & K_1 & H_1 \Sigma_{11} X_1^\perp & -H_1 \Sigma_{12} H_2' \end{bmatrix} - r[X_1 \ \Sigma_{11} X_1^\perp] - r[X_2 \ \Sigma_{22} X_2^\perp] \\
 &= r \begin{bmatrix} \Sigma_{12} & X_1 & \Sigma_{11} & 0 & 0 \\ X_2' & 0 & 0 & K_2' - X_2' H_2' & 0 \\ \Sigma_{22} & 0 & 0 & 0 & X_2 \\ 0 & K_1 - H_1 X_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X_1' & 0 & 0 \end{bmatrix} - r[X_1 \ \Sigma_{11}] - r[X_2 \ \Sigma_{22}] - r(X_1) - r(X_2) \\
 &= r \begin{bmatrix} \Sigma_{12} & \Sigma_{11} & X_1 & 0 & 0 \\ \Sigma_{22} & 0 & 0 & X_2 & 0 \\ X_2' & 0 & 0 & 0 & K_2' - X_2' H_2' \\ 0 & X_1' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_1 - H_1 X_1 & 0 & 0 \end{bmatrix} - r[X_1 \ \Sigma_{11}] - r[X_2 \ \Sigma_{22}] - r(X_1) - r(X_2). \quad (22)
 \end{aligned}$$

From (22), we obtained the required results in (18) and (19). ■

The following result is an immediate consequences of Theorem 1.

Corollary 1 Assume that $K_1 \beta_1$ and $K_2 \beta_2$ are estimable under models \mathcal{M}_1 and \mathcal{M}_2 , respectively, i.e., (6) holds. Then

$$r(\text{cov}\{\text{BLUE}_{\mathcal{M}_1}(K_1 \beta_1), \text{BLUE}_{\mathcal{M}_2}(K_2 \beta_2)\}) \quad (23)$$

$$= r \begin{bmatrix} \Sigma_{12} & \Sigma_{11} & X_1 & 0 & 0 \\ \Sigma_{22} & 0 & 0 & X_2 & 0 \\ X_2' & 0 & 0 & 0 & K_2' \\ 0 & X_1' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_1 & 0 & 0 \end{bmatrix} - r[X_1 \quad \Sigma_{11}] - r[X_2 \quad \Sigma_{22}] - r(X_1) - r(X_2).$$

Furthermore, $BLUE_{\mathcal{M}_1}(K_1\beta_1)$ and $BLUE_{\mathcal{M}_2}(K_2\beta_2)$ are uncorrelated if and only if

$$r \begin{bmatrix} \Sigma_{12} & \Sigma_{11} & X_1 & 0 & 0 \\ \Sigma_{22} & 0 & 0 & X_2 & 0 \\ X_2' & 0 & 0 & 0 & K_2' \\ 0 & X_1' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = r[X_1 \quad \Sigma_{11}] + r[X_2 \quad \Sigma_{22}] + r(X_1) + r(X_2). \quad (24)$$

$X_1\beta_1$ and $X_2\beta_2$ are always estimable under models \mathcal{M}_1 and \mathcal{M}_2 , respectively. Then

$$r(\text{cov}\{BLUE_{\mathcal{M}_1}(X_1\beta_1), BLUE_{\mathcal{M}_2}(X_2\beta_2)\}) = r \begin{bmatrix} \Sigma_{12} & \Sigma_{11} & 0 \\ \Sigma_{22} & 0 & X_2 \\ 0 & X_1' & 0 \end{bmatrix} - r[X_1 \quad \Sigma_{11}] - r[X_2 \quad \Sigma_{22}]. \quad (25)$$

In particular, the following statements are equivalent.

- (a) $BLUE_{\mathcal{M}_1}(X_1\beta_1)$ and $BLUE_{\mathcal{M}_2}(X_2\beta_2)$ are uncorrelated.
- (b) $\varepsilon_1 - BLUP_{\mathcal{M}_1}(\varepsilon_1)$ and $\varepsilon_2 - BLUP_{\mathcal{M}_2}(\varepsilon_2)$ are uncorrelated.

$$(c) r \begin{bmatrix} \Sigma_{12} & \Sigma_{11} & 0 \\ \Sigma_{22} & 0 & X_2 \\ 0 & X_1' & 0 \end{bmatrix} = r[X_1 \quad \Sigma_{11}] + r[X_2 \quad \Sigma_{22}].$$

We represent the general approach to SUR models in Theorem 1 and Corollary 1. The results in (18), (23), and (25) can also be expressed as follows since $\Sigma_{ik} = \sigma_{ik}I_n$, $i, k = 1, 2$.

$$r(\text{cov}\{\phi_1 - BLUP_{\mathcal{M}_1}(\phi_1), \phi_2 - BLUP_{\mathcal{M}_2}(\phi_2)\}) = r \begin{bmatrix} \sigma_{12}X_1'X_2 & X_1'X_1 & 0 \\ X_2'X_2 & 0 & K_2' - X_2'H_2' \\ 0 & K_1 - H_1X_1 & 0 \end{bmatrix} - r(X_1) - r(X_2). \quad (26)$$

$$r(\text{cov}\{BLUE_{\mathcal{M}_1}(K_1\beta_1), BLUE_{\mathcal{M}_2}(K_2\beta_2)\}) = r \begin{bmatrix} \sigma_{12}X_1'X_2 & X_1'X_1 & 0 \\ X_2'X_2 & 0 & K_2' \\ 0 & K_1 & 0 \end{bmatrix} - r(X_1) - r(X_2). \quad (27)$$

$$r(\text{cov}\{BLUE_{\mathcal{M}_1}(X_1\beta_1), BLUE_{\mathcal{M}_2}(X_2\beta_2)\}) = r(X_1'X_2). \quad (28)$$

IV. CONCLUSION

In this study, we present a general approach to SUR models by giving some statistical properties of BLUPs under two SUR models by using some rank formulas of matrices. In order to establish general results on predictor/estimator, we consider general linear function of all unknown vectors under models. Especially, we establish some results on covariance matrices between BLUPs of unknown vectors under two SUR models by addressing the subject theoretically. Although some results related to the predictors under general linear regression models can be applied to SUR models, algebraic properties of BLUPs under SUR models need to be clearly expressed and the formulations of statistical properties are worth to be considered to obtain more statistical inference of the models.

REFERENCES

- [1] Gong, L. (2019). Establishing equalities of OLSEs and BLUEs under seemingly unrelated regression Models. *Journal of Statistical Theory and Practice*, 13:5.
- [2] Hou, J., Zhao, Y. (2019). Some remarks on a pair of seemingly unrelated regression models. *Open Math.*, 17, 979–989.
- [3] Jiang, H., Qian, J., Sun, Y. (2020). Best linear unbiased predictors and estimators under a pair of constrained seemingly unrelated regression models. *Stat. Probab. Lett.*, 158, 108669.
- [4] Sun, Y., Ke, R., Tian, Y. (2014). Some overall properties of seemingly unrelated regression models. *Adv. Stat. Anal.*, 98 (2), 103–120.
- [5] Zellner, A. (1962). An efficient method of estimating seemingly unrelated regressions and tests for aggregation bias. *J. Am. Stat. Assoc.*, 57, 348–368.
- [6] Zellner, A. (1963). Estimators for seemingly unrelated regression equations: some exact finite sample results. *J. Am. Stat. Assoc.*, 58, 977–992.
- [7] Zellner, A., Huang, D. S. (1962). Further properties of efficient estimators for seemingly unrelated regression equations. *Int. Econ. Rev.*, 3, 300–313.
- [8] Baksalary, J. K., Kala, R. (1979). On the prediction problem in the seemingly unrelated regression equations model. *Statistics*, 10, 203–208.
- [9] Baksalary, J. K., Trenkler, G. (1989). The efficiency of OLS in a seemingly unrelated regressions model. *Econ. Theory*, 5, 463–465.
- [10] Dwivedi, T. D., Srivastava, V. K. (1978). Optimality of least squares in the seemingly unrelated regression model. *J. Econ.*, 7, 391–395.
- [11] Foschi, P., Kontoghiorghes, E. J. (2002). Seemingly unrelated regression model with unequal size observations: computational aspects. *Comput. Stat. Data Anal.*, 41, 211–229.
- [12] Liu, A. Y. (2002). Efficient estimation of two seemingly unrelated regression equations. *Journal of Multivariate Analysis*, 82, 445–456.
- [13] Srivastava, V. K., Giles, D. E. A. (1987). *Seemingly Unrelated Regression Equations Model*. Marcel Dekker, New York.
- [14] Tian, Y. (2015). A new derivation of BLUPs under random-effects model. *Metrika*, 78, 905–918.
- [15] Alalouf, I. S., Styan, G. P. H. (1979). Characterizations of estimability in the general linear model. *Ann. Stat.*, 7, 194–200.

- [16] Goldberger, A. S. (1962). Best linear unbiased prediction in the generalized linear regression models. *J. Amer. Stat. Assoc.*, 57, 369–375.
- [17] Rao, C. R. (1973). Representations of best linear unbiased estimators in the Gauss–Markoff model with a singular dispersion matrix. *J. Multivariate Anal.*, 3, 276–292.
- [18] Marsaglia, G., Styan, G. P. H. (1974). Equalities and inequalities for ranks of matrices. *Linear Multilinear Algebra*, 2, 269–292.
- [19] Tian, Y. (2017). Matrix rank and inertia formulas in the analysis of general linear models. *Open Math.*, 15, 126–150.

Araştırma Makalesi – Research Article

Akaryakıt İstasyonu Yakıt Satış Otomasyonu Veriler Üzerinden Bir Veri Madenciliği Çalışması

İlhan Tarımer^{1*}, Buse Cennet Karadağ²

Geliş / Received: 27/08/2019

Revize / Revised: 08/05/2020

Kabul / Accepted: 21/05/2020

ÖZ

Bu makale benzin istasyonlarında satılan benzin, otogaz gibi petrol ürünlerinin satış tahminlerine ilişkin bir çalışmadır. Akaryakıt tiplerinin gelecekteki satışlarını tahmin etmek için bazı veri madenciliği teknikleri kullanıldı ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunuldu. Elde edilen sonuçların akaryakıt istasyonlarında tank yönetimi stratejisini etkilediği görülmektedir. Bu amaçla belirlenen bir akaryakıt istasyonu deposuna giren ürün miktarı ve istasyondan satılan akaryakıt miktarı verilerinden, istasyonun periyodik satış tahminleri çıkartılmıştır. Önce C# ve .NET dillerinde web tabanlı bir yazılım geliştirilmiş ve bununla ilişkili bir veritabanı kurulmuştur. Geliştirilen yazılımın admin ve kullanıcı adlı 2 ayrı girişi üzerinden anlık satış verilerinin kaydı tutulmuştur. Ardından bu veritabanından çekilen depo ve satış verileri üzerinde veri madenciliği yapılmıştır. Bu çalışma sonuçlarının turizm güzergâhında bulunan akaryakıt istasyonlarına depo yönetimi ve satış tahminleri konusunda destek vermesi ve istasyon için bir satış denetim düzeni kurulmasına yardımcı olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler- Yazılım, Akaryakıt satışı, Veri tahmini

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: itarimer@mu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-7274-5680>)

Bilişim Sistemleri Mühen, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Marmaris Yolu, Mentеше, 48000, Muğla

²İletişim: busecennet5@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-2488-1047>)

Bilişim Sistemleri Mühendisliği ABD, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mentеше, 48000, Muğla

A Data Mining Case Study Over Fuel Sales Automation Data

ABSTRACT

This paper is devoted to the sales estimations of petroleum products that are sold at fuel stations such as auto gas and diesel. Some techniques of data mining were used to predict the future sales of fuel oils types and the results were presented comparatively. It is also seen that the results obtained effect the strategy of tank management at fuel stations. For this purpose, the periodic sales estimations of the station are deducted from the data of the quantity of products entering a fuel station depot and the amount of fuel sold from the station. First, a web-based software was developed in C # and .NET languages and a related database was established. Instant sales data was recorded through 2 separate entries called as admin and user of the developed software. Then, data mining was performed on the warehouse and sales data drawn from an associated database. The results of this study are expected to support fuel stations on the tourism route in terms of warehouse management and sales estimates and help to establish a sales control scheme for the station.

Keywords- Software, Fuel sales, Data estimation

I. INTRODUCTION

Turkey fuel sector together with more than 13000 fuel station enterprises has an important place within Turkish Economy. The vital issues of fuel station entrepreneurs, which are important actors of the fuel sector, is the identification and prevention of wastages [1]. In this study, it is aimed to make a warehouse audit of fuel products such as gasoline, diesel and LPG sold from a fuel station, to eliminate the wastes occurring, to make forecasts from the sales and to obtain information about the amount of fuel that the company should have in the future. ASP.NET is that is a web technology which gives multiple language supports, and together with the C# programming platform have been used to develop the software that is quick, secure and expandable in the study [2]. Thus, it is considered that the database operations are to do easily.

In the study, the software is designed that is a web based program, then the software's codes are created by using C# and ASP.NET platforms [3]. A database is created by using SQL Server 2014. This database is used to record the sales done by the fuel company. The software platform which is ASP.NET is a server-sided technology that it is used to develop Microsoft .NET Framework based applications [4]. Why the automation software is created by .NET platform is to make analyze by an interface created in this platform without set-up any other program [5]. Besides this, the .NET platform brings an advantage that an application is to be developed in different programming languages.

Operations can be made real in many computers at same time since an application prepared by means of .NET platform can be operated as web based one. Therefore, its usage is becoming increasingly common [5]. The reason of using C# language as parallel to .NET platform when creating the software is that it is a powerful, modern and object-oriented programming language [6].

As a definition, data mining [7, 8, 9] is a procedure that it is to access to information amongst big data [10]. Models used in data mining are to be examined beneath two separate categories that are named definer and estimator. At estimator models, it is aimed that it is to develop a modal via the data that their results are known. It is also targeted that the result values are estimated for data sets which are unknown by using the created model [11]. On the other hand, at definer modals, the patterns found already at current data to be used at at guiding to guide is used [11]. Neural network and regression modals are estimator [12]. As it is seen from the chapter 2 that it is used a program named IBM SPSS Modeler to make data mining tasks. SPSS Modeler is a leading visual data science and machine learning solution. It helps organizations shorten the time to value and get the desired results by speeding up operational tasks for data scientists. SPSS Modeler allows organizations to take advantage of data assets and modern applications with complete algorithms and models that are ready for immediate use. Model evaluation and visualization operations can be performed after obtaining models with data mining algorithms with the related software. [13]. When analyzing the data within the SPSS Modeler, two algorithms of machine learning were used: artificial neural network and multiple linear regression. It is true that the earlier-mentioned papers make an infrastructure to the study. Besides these, based on the results obtained by data mining analysis of a fuel station, it is aimed to make estimations about the types of fuels that similar ones should have.

In the literature, there are many forecasting studies made in different fields with different data mining methods. Prediction studies with made multiple linear regression algorithms and artificial neural network algorithms are given below.

Marvuglia and Messineo (2012) ,with variables such as weather data, air conditioner or not, made the household electricity consumption estimation using the Radial Based Artificial Neural Network method. Carlson and Umble (1980) estimated car types using multiple linear regression analysis in this study, which used disposable income as independent variables, varying according to car type, gasoline prices, gasoline shortage, and the strike of American automotive workers. Businger and Read (1999) used regression analysis in the demand forecast of maintenance and repair parts in the American navy.

With ANN estimation methods, Alho (2014) demographic structure, Kouwenberg & Zwinkels (2014) housing market, Lima et al. (2014) examined the flow of water to the hydroelectric power plant. Turanlı & Güneren (2003) made demand forecasts for the tourism sector.

The flow plan of the paper is as following: The method followed has been emphasized in section 2. In this section, the data are withdrawn to the database created through the software automation; several subtractions have been made by making data mining over these data. The results are given at the end of this section. The discussions and conclusions are took part in the 3rd section.

II. METARIAL AND METHOD

For the study, a software is designed for a desktop use and its codes are written in C# platform. Figure 1 shows the interface of the software created. The following figures give the use of the interface how to run.



Figure 1. The fuel station tracking program

After login to the program as admin or user, the program interfaces direct the flow to the relevant pages. When user wants to make sales, to check product stock and to update product quantity, the program interfaces are redirected to the related pages.

A. User Login and New User

When the developed software is operated first, User Login is seen on the screen. If correct information is written, the flow is directed to the admin or user panels regarding to the type of user. In case of not affiliated to the program, new membership can be opened and it is able to enter to the system by clicking "New Log" button.

The figure 2 shows the user login form. From this interface, it is connected to the database. Whether user name and its password are in the database system is checked. If it is admin, then it is directed to the admin panel otherwise to the user panel. In case of user name and/or its password are incorrect or aren't being in the system, the interface responds you with an error message. If one is wanted to register to the system, firstly a form is opened where information can be filled. When information is entered and clicked on the 'Save' button, new user information is added to the database. Afterwards, it can be login to the system with the new user infos (Figure 1).

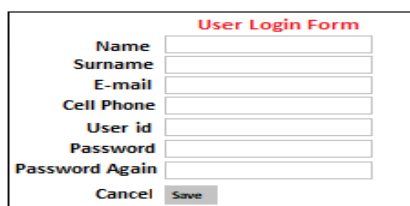


Figure 2. New user form interface

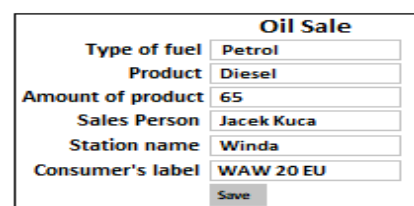


Figure 3. Product sales interface

B. Regulations on sales, recording and its infos for fuel

The Figure 2 and 3 show the fuel sales interface. From screen seen in the Figure 2, type of fuel is selected. The oil types are changed regarding to the oil selected. When the fuel oil type is selected, amount of product (liter or pcs) is entered; the name which is selling the oil and the active sales person's name are determined. The consumer's car label is entered, thus sales process is completed (Figure 3).

In terms of the codes of the software, when the interface page is loaded, database connection is activated, the product type is taken from the database as well. Then the fuel products are listed according to the selected product type. The sales persons and names of the stations are listed through the activating database.

When to click on login button in the interface screen, name of the entered product name, sales person's name, station's name, amount of the product sold and consumer info are assigned to the defined variables. Thus, the database connection is opened and the sales price of the product is drawn according to the ID of the selected product. Besides these, sales price is assigned to the defined variables, and the entered data is added to the database. In the product registration interface name of the product, type of the product, wholesaler purchasing price and the amount of the product bought are entered and registered (Figure 4).

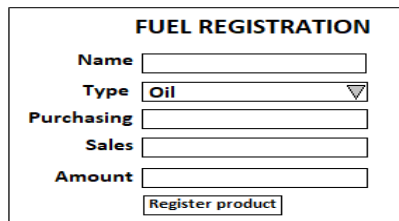


Figure 4. Product registration interface

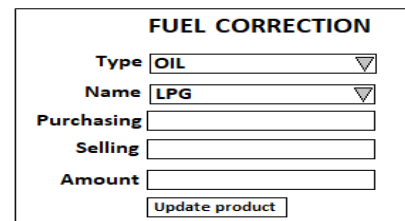


Figure 5. Product info updating interface

In the product registration and updating interfaces, some incorrectness and/or lacks on purchasing and selling prices of the product entered are corrected or updated. The type and the name of product are chosen. The purchasing price that it wants to correct, the selling price and the amount are entered. The price of product and the amount of product are corrected as clicking on the "Update product" button (Figure 5).

C. Sales deletion, storing stations and add categories

This is the section that the one is included uncorrected, lacked and/or the data needed to be deleted. When the "select" button on the left side of the data line to be deleted is clicked on, the deletion is performed (Figure 6).

SALES DELETION								
	Name of Product	Sales Person	Station Name	Sales Price	Amount of Product	Total Sales	Label of Vehicle	Date
Choose	LPG	Berat Gider	Merkez 1	3,78	5,29	19,9962	48ABC 372	10.06.2019 / 02:04:11
Choose	UnLeaded	Feride Bayrak	Akova 2	7,16	10,33	73,9628	48 GA 333	10.06.2019 / 02:04:43
Choose	LPG	İsmail Kirpi	Bezcey 2	3,78	13,23	50,0094	48 AAD 280	10.06.2019 / 02:04:59
Choose	Diesel	İrfan Sarsar	Merkez 2	6,61	40,85	270,0185	06 AGE 456	10.06.2019 / 02:05:59
Choose	LPG	İrfan Sarcan	Merkez 3	3,78	13,23	50,0094	48 KJ 347	10.06.2019 / 02:06:52
Choose	Diesel	Mert Korkar	Akova 1	6,61	7,56	49,9716	17 AAJ 024	10.06.2019 / 02:07:17
Choose	Diesel	Abdullah Velibey	Bezcey 1	6,61	32,53	215,0233	48 P 1345	10.06.2019 / 02:08:48
Choose	Diesel	Berat Gider	Central 1	6,61	6,06	40,0566	48 PE 1356	10.06.2019 / 02:09:50
Choose	LPG	Feride Bayrak	Akova 2	3,78	7,34	27,7452	48 AAN 907	10.06.2019 / 02:08:50
Choose	UnLeaded	İsmail Kirpi	Bezcey 2	7,16	3,49	24,9884	20 LG 673	10.06.2019 / 02:09:58
Choose	UnLeaded	İrfan Sarsar	Merkez 2	7,16	5,55	39,738	59 TKD 028	10.06.2019 / 02:10:23
Choose	UnLeaded	İrfan Sarcan	Merkez 3	7,16	7,75	55,49	18 HV 150	10.06.2019 / 02:12:31
Choose	LPG	Mert Korkar	Akova 1	3,78	10,24	38,7072	45 HVC 156	10.06.2019 / 05:01:18
Choose	LPG	Abdullah Velibey	Bezcey 1	3,78	9,87	37,3086	48 YKT 670	10.06.2019 / 06:17:37
Choose	Diesel	Berat Gider	Merkez 1	6,61	25,42	168,0262	48 UYH 560	10.06.2019 / 06:27:41

Figure 6. Sales deleting page

As shown in Figure 7, regarding to open a new branch or a new station, the station recording interface is used. To do this, it is more than enough to enter the station name and to click on "Station record" button.

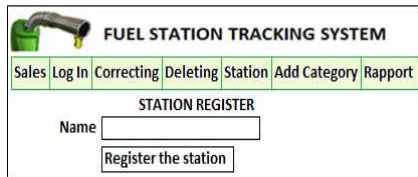


Figure 7. Station registering page

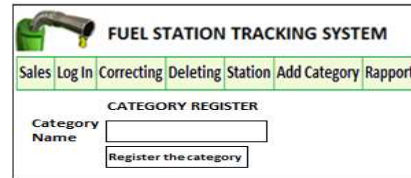


Figure 8. Category recording page

The page seen in the Figure 8 is an interface page that it would assist when it is wanted to add a new category or type of product. In this screen, if type of the product is entered, and clicked on the "Save category", then the recording procedure is realized (Figure 8).

D. Processing of the obtained data

In this chapter, data mining is performed on the fuel sales data of the relevant fuel station processed monthly and annually in Excel. Data mining is the acquisition of previously unknown, valid and applicable information from large databases and the use of this information in making business decisions [14]. The steps that make up the data mining process are given in the flowchart in Figure 9.

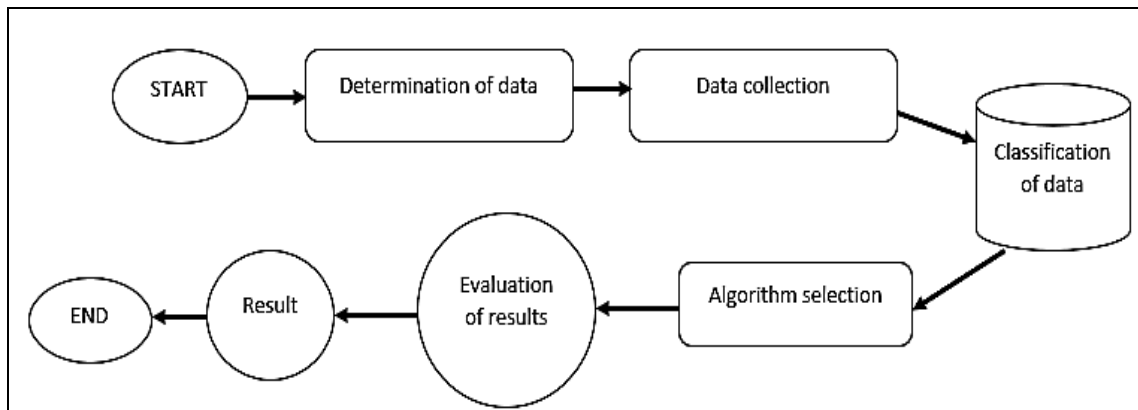


Figure 9. Data Mining Process Flowchart

Fuel purchase estimation analysis has been carried out in order to estimate the amount of fuel purchases that will take place in the coming months, taking into account the monthly fuel sales quantities made at the station. The flow chart of the operations to be performed for the estimation of the data is given in Figure 10.

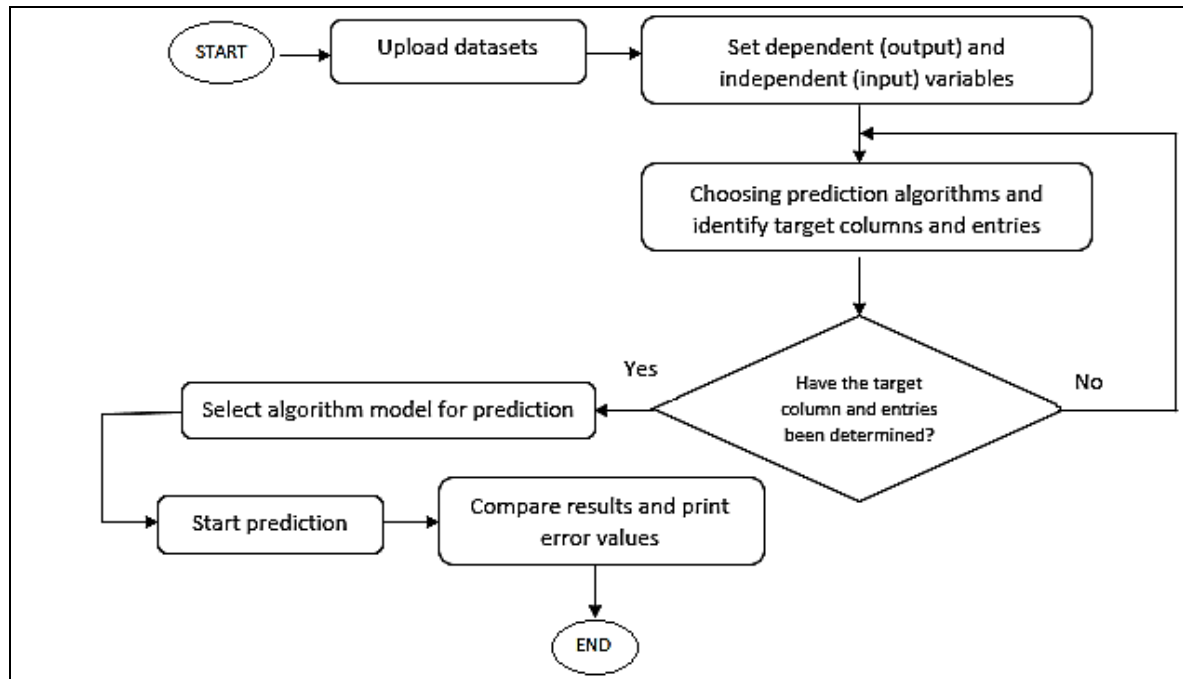


Figure 10. Data Mining Flowchart

1) *Sales Forecasting with Artificial Neural Networks*: In here in order to estimate the amount of fuel purchases in the coming months, 48 monthly data and artificial neural networks and algorithms of multiple linear regression analysis used. By examining the annual and monthly sales amounts, it was analyzed in which seasons and months the most sales occurred in fuel oil types. A table respecting a type of fuel used in the analysis is given below (Table 1).

Table 1. Sales data of diesel fuel type

Months	2015	2016	2017	2018	2019
January	21.917,19	45.657,91	65.892,63	103.569,87	88.212,00
February	19.968,72	50.305,15	71.443,32	76.829,65	105.957,00
March	20.376,41	51.106,92	94.104,43	106.523,59	103.705,00
April	23.726,87	59.496,61	84.669,22	128.424,21	90.698,40
May	24.291,98	63.687,92	99.587,14	123.373,86	105.315,00
June	23.322,94	56.844,83	96.641,39	113.353,00	89.905,00
July	22.661,80	55.429,23	107.426,69	121.493,00	93.807,39
August	22.662,96	62.286,94	112.578,00	115.138,00	89.671,00
September	22.676,70	56.020,36	107.042,64	108.690,00	92.349,00
October	29.663,51	67.513,49	129.314,35	115.000,00	85.277,00
November	34.593,90	65.732,01	126.860,65	107.470,00	70.872,00
December	29.384,37	71.890,41	112.033,42	94.728,00	77.969,00

Artificial neural networks are an information processing system inspired by biological neural networks. Artificial neural networks consist of several interconnections of artificial nerve cells and generally arranged in layers. Neural networks consist of two or three layers. These layers are input, hidden and output layers. Neural networks consisting of two layers have not hidden layers [14]. The structure of artificial neural networks is shown in Figure 11.

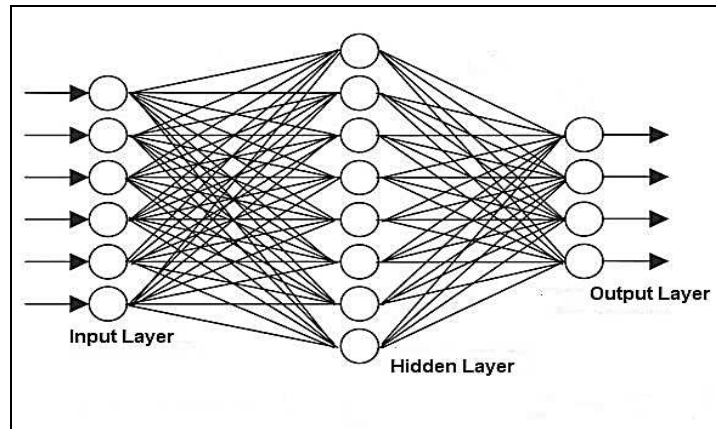


Figure 11. Structure of Artificial Neural Network

In this section, Multilayer Perceptron (MLP) and Radial Basic Function (Radial Based Function Network-RBFN) methods are used. Multilayer Perceptron method is a feed forward learning algorithm based on error. It performs the learning and decision making stages, which have two basic functions, by weighting, activation function and bias. Weight is the coefficient that each input is multiplied before going to the next stage. All inputs are collected by multiplying with their own weights. The response that occurs as a result of sending this value to the activation function becomes the decision of the system.

Bias, on the other hand, is a user-added parameter that can vary from user to user, the way the mechanism works or its purpose [15]. Artificial neural network structures created in MLP method, which used when the estimate for fuel types of year 2019, are given in Figures 12, 13 and 14. In these shapes, 2015-2018 shows the years given as input in the network, the neurons hidden layers and 2019 shows the target column.

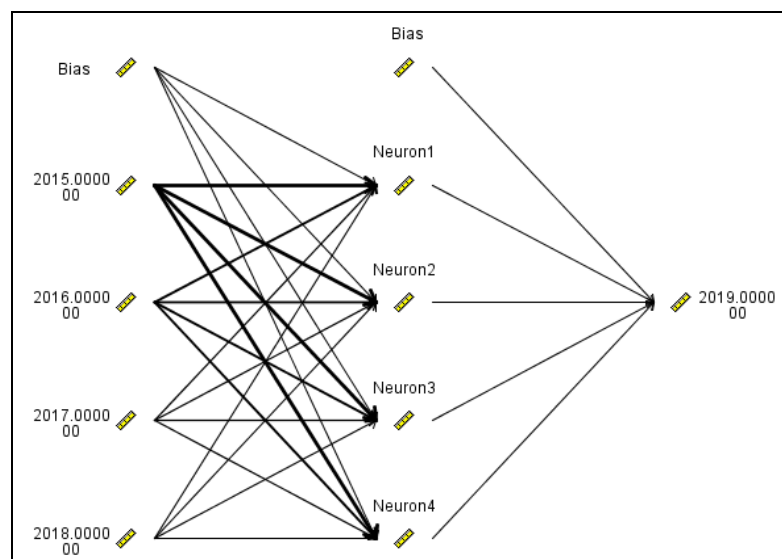


Figure 12. ANN Structure for 2019 Diesel Sales Forecast

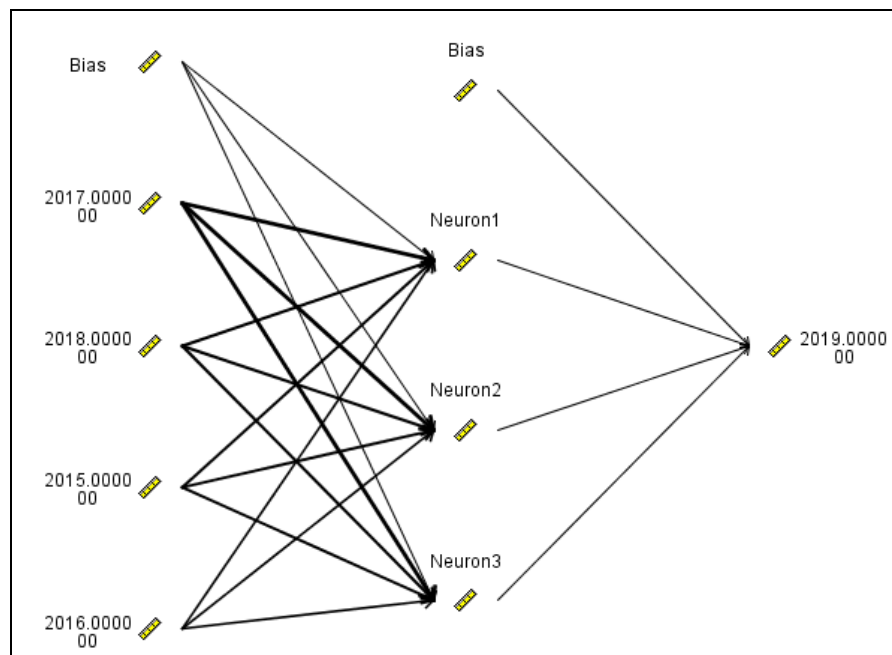


Figure 13. Ann Structure for 2019 Auto Gas Sales Forecast

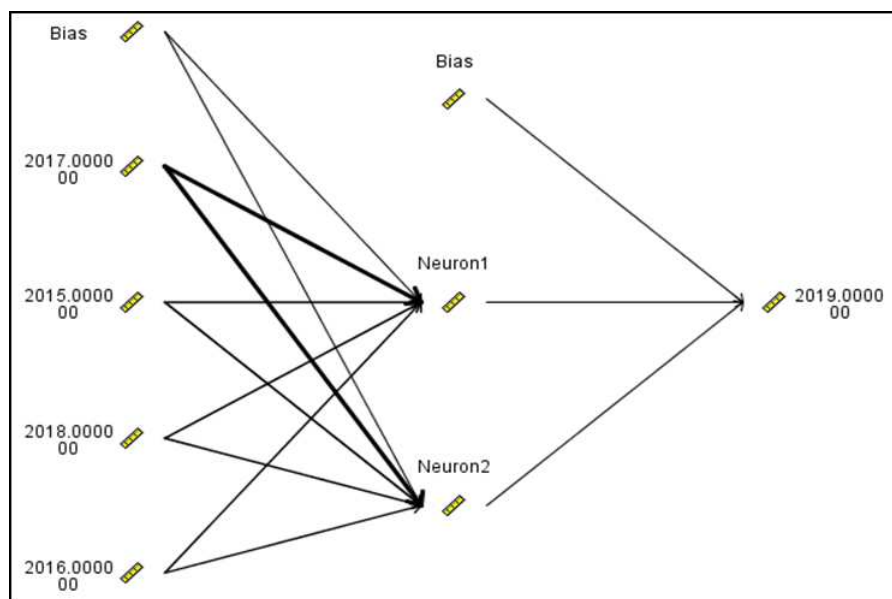


Figure 14. ANN Structure for 2019 Unleaded Gasoline Sales Forecast

When the given neural network structure is examined, the number of neurons used in the hidden layer in the estimation of each species is different. A neuron usually receives many inputs simultaneously. Each entry has its own weight. The weights indicated in bold in the artificial neural networks given in the figure indicate that the inputs are more important than the other input values in the neurons to which they are connected. For this reason, they are more effective in generating value at the neuron. In addition, weights are adaptive coefficients that determine the strength of the input signal. That is, it is a measure of the connecting power of the input. The network with the smallest structure in neural network structures is the model created for the estimation of

unleaded gasoline consisting of 2 neurons. As a result of the network structure created, the values which have been estimated for the sale of fuel types are given in Table 2.

Table 2. Fuel Sales Values Estimated by MLP

2019 (Months)	Realized Fuel Sales			Predicted Values with ANN Multiplayer Perceptron		
	Diesel	Unleaded	Autogas	Diesel	Unleaded	Autogas
January	88212	15638	80831	89123,43	15228,36	80803,07
February	105957	16348	71306	102207,7	16466,72	71293,02
March	103705	18815	81264	101761,3	18732,89	81466,35
April	90698,4	19987	77399	92848,63	20251,71	77598,87
May	105315	22509	65882	95068,62	20951,84	65127,58
June	89905	24520	60551	93896,42	22667,70	54045,15
July	93807,39	26059,98	55156,3	96289,93	24828,57	50842,81
August	89671	25426	50572	100855,4	24930,64	49371,31
September	92349	21132	44411	96906,84	22773,59	46850,64
October	85277	21225	49662	78235,11	22306,36	50721,26
November	70872	19772	49460	73861,42	22537,85	53750,39
December	77969	19009	47633	81198,87	19663,63	52011,7

The values predicted by the MLP algorithm and the actual values were examined on the line chart, and as a result of the comparison, it was observed that the algorithm made close predictions especially for January, February, March and April. The graph of the comparison of these values is given in Figure 15.

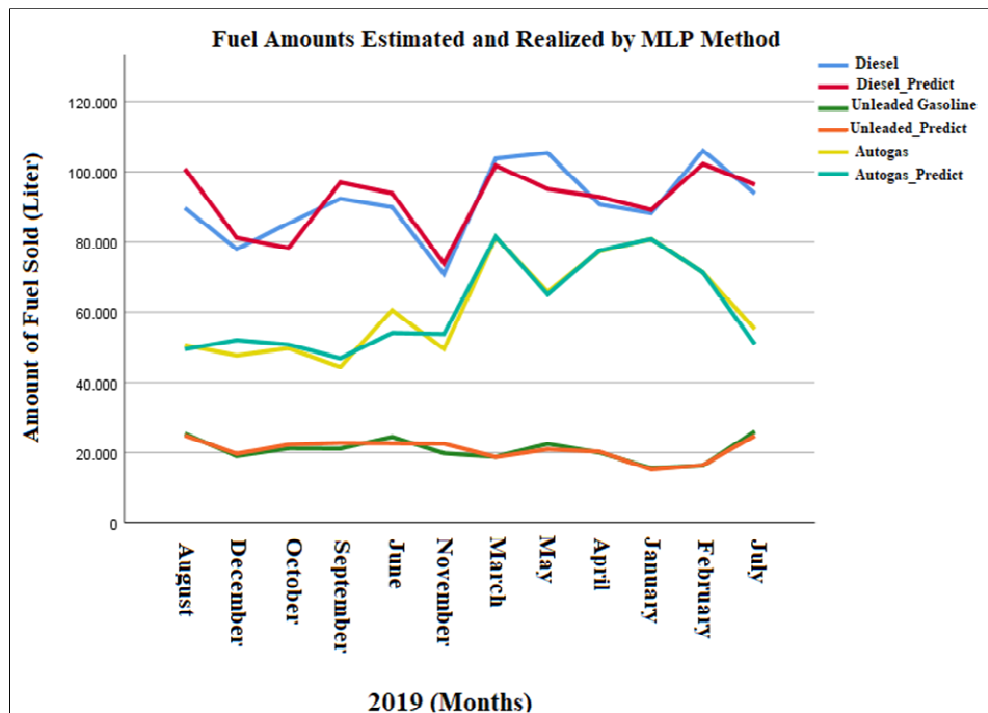


Figure 15. Fuel Amounts Estimated and Realized by MLP Method

The RBFN (Radial Basic Function Network) method used as another prediction algorithm is a curve fitting approach depending on the values of the target variable in multi-dimensional space. Training of the model requires less time and more data is needed to get good results [16]. The number of neurons in the hidden layer of artificial neural networks created for the prediction process in the RBFN algorithm differs as in the MLP algorithm. The number of neurons in the hidden layer is 6 in the network created for unleaded gasoline and 8 for diesel and auto gas. As a result of the created structures, the values estimated by the network regarding the sales of fuel oil types are given in Table 3.

Table 3. Estimated Values with RBFN

2019 (Months)	Realized Fuel Sales			Predicted Values with ANN Radial Basic Function		
	Diesel	Unleaded	Autogas	Diesel	Unleaded	Autogas
January	88212,00	15638,00	80831,00	88212,00	15992,86	80831,00
February	105957,00	16348,00	71306,00	105957,00	15993,11	71306,00
March	103705,00	18815,00	81264,00	103705,00	18911,43	81264,00
April	90698,40	19987,00	77399,00	90698,40	19987,09	77399,00
May	105315,00	22509,00	65882,00	105315,00	22509,00	65882,00
June	89905,00	24520,00	60551,00	94405,37	22519,80	58055,79
July	93807,39	26059,98	55156,30	93807,39	26059,98	55156,30
August	89671,00	25426,00	50572,00	98165,59	26236,93	51742,59
September	92349,00	21132,00	44411,00	92349,00	21132,00	44411,00
October	85277,00	21225,00	49662,00	89522,26	22520,82	54380,78
November	70872,00	19772,00	49460,00	73465,38	22036,46	53131,30
December	77969,00	19009,00	47633,00	77969,00	18912,51	47633,00

When the actual sales values and the estimated values were compared, it was observed that the algorithm found the same values especially in January, February, March, April, May and September.

2) *Sales Forecasting with Multiple Linear Regression:* In the multiple linear regression model, the aim is to explain the total change in independent variables (explanatory variables) and in the dependent variable (response variable). In multiple linear regression analysis, the contribution of some of the model-forming independent variables to the model may be insignificant. Therefore, it is necessary to determine the independent variables that will explain the dependent variable in the most appropriate way and to removal the insignificant variables from the model. This process is called "variable selection" [17]. Different methods have been developed for the selection of variables. These methods are examined in two groups as classical methods and step methods according to calculation techniques.

At this stage, while performing the estimate of the sales, the forward, backward and stepwise methods were used. In the forward selection method, it wants to find the most suitable regression model by adding one independent variable at a time. In the backward selection method, all variables are included in the model in the first stage. In the next steps, the process is continued by throwing the independent variable, which has the lowest partial F value. The contribution of the discarded variable is tested each time. If the contribution of the discarded variable is statistically significant, the throw is not performed and the process is stopped there [18]. In the stepwise selection method, both the forward selection method and the reverse selection method are used simultaneously [19]. The stepwise selection method consists of editing the forward selection method. The independent variable previously added to the model is re-evaluated with partial F statistics. An argument previously added to the model can be removed from the model in later steps [20]. In this method the purpose is, to determine what the independent variables that may affect Y dependent variable are theoretically, and to

choose among them the variables that do not have interrelations and affect the dependent variable the most. The most important benefit of the stepwise selection method is that it solves the problem of multiple linear connection [21]. The estimated of values as a result of the methods used are given in Table 4.

Table 4. Estimated Values by Multiple Linear Regression Methods

2019 (Months)	Realized Fuel Sales			Values Estimated by Forward Regression			Values Estimated by Backward Regression			Values Estimated by Stepwise Regression		
	Diesel	Unleaded Gasoline	Autogas	Diesel	Unleaded Gasoline	Autogas	Diesel	Unleaded Gasoline	Autogas	Diesel	Unleaded Gasoline	Autogas
January	88212,00	15638,00	80831,00	96505,08	15820,27	69759,807	96505,08	16115,43	70421,34	93421,41	15820,27	70710,66
February	105957,00	16348,00	71306,00	10032,42	16291,84	82540,384	100392,4	16048,42	78399,15	100300,6	16291,84	77989,78
March	103705,00	18815,00	81264,00	99579,05	17811,47	73380,077	99579,05	17789,66	80136,61	99054,94	17811,47	80029,25
April	90698,40	19987,00	77399,00	92894,64	20792,27	60210,418	92894,64	21590,9	75337,39	93022,15	20792,27	75806,43
May	105315,00	22509,00	65882,00	91767,21	20526,10	63582,079	91767,21	20941,49	67813,21	93177,95	20526,1	67210,57
June	89905,00	24520,00	60551,00	93700,51	22591,09	58874,588	93700,51	22571,87	56507,57	93544,59	22591,09	56477,82
July	93807,39	26059,98	55156,30	95019,53	24931,87	54295,876	95019,53	24570,35	47646,7	94597,71	24931,87	47392,57
August	89671,00	25426,00	50572,00	95017,22	25594,08	46009,174	95017,22	25455,13	51880,93	96970,79	25594,08	53241,5
September	92349,00	21132,00	44411,00	94989,81	22694,49	55856,765	94989,81	23106,18	48807,7	95021,45	22694,49	48131,14
October	85277,00	21225,00	49662,00	81050,63	21965,77	54661,673	81050,63	21503,26	47616,31	81574,27	21965,77	47716,74
November	70872,00	19772,00	49460,00	71214,16	21577,36	54685,903	71214,16	21506,81	57508,01	69046,83	21577,36	58343,71
December	77969,00	19009,00	47633,00	81607,53	19844,37	60270,556	81607,53	19241,48	52052,39	84005,13	19844,37	51077,15

3) *Comparison of the Results of Artificial Neural Networks and Multiple Linear Regression Methods:* Artificial neural network methods and multiple linear regression methods, the compared among themselves in order to estimate the 12-month fuel sales of 2019 year and the best predictive models were determined. The results of artificial neural network methods are given in Table 5.

Table 5. Artificial Neural Networks Methods and Results for Estimation of Fuel Types

	Autogas		Unleaded Gasoline		Diesel	
	Multiplayer Perceptron	RBFN	Multiplayer Perceptron	RBFN	Multiplayer Perceptron	RBFN
Minimum Error	-4378,704	-4718,783	-2765,856	-2264,461	-11184,44	-8494,589
Maximum Error	6505,853	2495,213	1852,291	2000,205	10246,384	0
Mean Error	20,43	-588,788	-74,912	-197,584	-709,654	-1652,8
Mean Absolute Error	2115,466	1004,657	1012,903	606,181	4539,877	-1652,8
Standard Deviation	3128,671	1887,317	1339,996	1012,08	5714,032	2769,612
Linear Correlation	0,974	0,991	0,915	0,953	0,841	0,965

When the results in Table 5 are analyzed, it is seen that the most adaptive method for 2019 fuel types is RBFN. The values realized with the values estimated of the RBFN method are given in the histogram graph (Figure 16).

When the histogram graph in Figure 16 is examined, it is observed that the intake of diesel oil generally increases in winter and spring and decreases in autumn. It is observed that purchases for unleaded gasoline increase partially in winter and spring, decrease in summer and autumn. It is observed that purchases for autogas, another type of fuel, increase in winter and spring, decrease in summer and autumn.

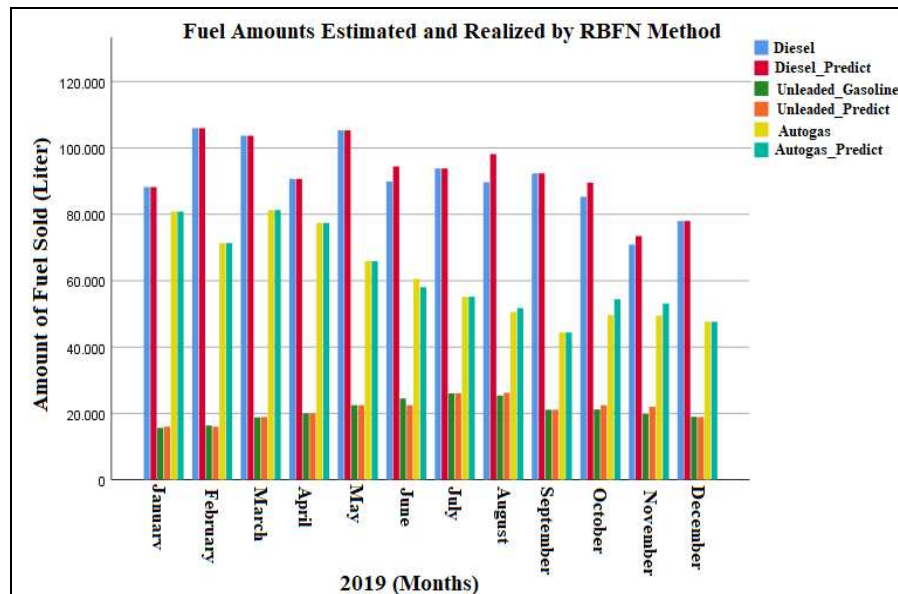


Figure 16. Fuel Amounts Estimated and Realized by RBFN Method

In order to find out which of the multiple linear regression methods produce values closer to the real values, the R^2 values of the methods were examined. R^2 is a commonly known measure and is a measure of the fit rate of the linear model. It is often called the determination coefficient. It ranges from 0 to 1, and small values indicate that the model is not accord [16]. The R^2 values of the methods used in each type of fuel are given in Table 6.

Table 6. Multiple Linear Regression Estimation Methods R^2 Values

	Multiple Linear Regression Estimation Methods R^2 Values		
	Forward	Backward	Stepwise
Autogas	0,525	0,832	0,832
Unleaded	0,855	0,84	0,855
Diesel	0,682	0,682	0,703

When R^2 values are analyzed, it is observed that backward and stepwise linear regression for autogas, forward and stepwise linear regression for unleaded gasoline and stepwise linear regression method it appears to estimate values close to real values.

III. RESULTS

In this case study, an automation software for a fuel-oil station has been created; the data taken from this automation software has been transferred to a database and then analyzed by data mining techniques. 48-month (2015-2018) data were used for the analysis, and it was aimed to estimate the sales expected to occur in 2019 based on the data. In the analysis, it is aimed to predict fuel sales and determine the model that makes the

best estimation by using two different data mining techniques and their different models. Due it is a web based project, a synchronized access to the system through different stations was made aimed. The dispersion graphics of the data, success rates of the used algorithms, and the outputs produced by the algorithms have been obtained by using data mining technics. Thanks to the line graphic which is occurred by analyzing the data, it is inferred that the most sold fuel-oil type is the diesel. It is seen that the LPG and unleaded types of fuel-oil at the station is the sold fuel in the second order.

The project developed in the study makes the people who want to make future planning and forecasting in the fuel-oil sector, to make the accurate predictions easy by data mining. Based on the data obtained from the analysis, it has been reached to the result that the station should prefer to have the diesel fuel mostly; then unleaded and LPG type ones respectively.

To future works, it is thought that the interface part of the software could be developed in order to take attentions of users. To more precise predictions by data mining on future, it is proposed to use monthly sales data of other stations of the company. Thus, subtractions on how much the station should be supplied regarding to the types of fuel-oil by examining the increase and decrease at sales could be made.

The stations to be closed can be determined by looking at the sales. It can be benefited that the more accurate subtractions (results) could be obtained on prediction processes by different algorithms.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author(s) of the paper thank to Technology Faculty of Muğla Sıtkı Koçman University for its valuable supports during progress of the study.

REFERENCES

- [1] Eroglu, H. "Stock Control of Fuel Products and Evaluation of Wastes in Fuel Stations", İstanbul, Turkey: Beykent University Graduate School of Social Sciences, 2019.
- [2] Skeet, J., "C# in Depth, Manning Publications Company", 4th ed., ISBN-13: 978-1617294532, 497 pages, 2019.
- [3] Esposito, D., "Programming ASP.NET Core (Developer Reference)", ISBN: 978-509304417, 416 pages, Publisher: Microsoft Press; 1st Edition, USA, May 19, 2018.
- [4] Pala, Z. "Step by Step Web Applications by ASP.NET", Turkmen Book-House, ISBN-13: 978-9756392485, 359 pages, 2006.
- [5] Sonmez, E., Kacar, S., *Web Laboratory Design Based Matlab Builder Ne and Asp.Net for Control Systems Course*, Sakarya University Journal of Science, vol. 20, iss. 2, p.p. 155-165, 2016.
- [6] [Online]. Available: <https://jamshidhashimi.com/net-ve-c/> 26.08.2019.
- [7] Yildiz, M., Seker, S. E., *Data Mining Tools*, YBS Encyclopedia, vol. 3, no. 4, p.p. 10–19, 2016.
- [8] Silahtaroglu, G., "Data Mining Concepts and Algorithms", ISBN: 9756797815, 3rd Publishment, 304 pages, Turkey, 2016.
- [9] Kocaman, A.E., "Sentiment Analysis on Twitter by Data Mining Technics", B.Sc. Thesis, Technology Faculty of Mugla Sitki Kocman University, Mugla, 2018.
- [10] Atan, S., *Data, Big Data and Business Administration*, Balikesir University The Journal of Social Sciences Institute, vol. 19, no. 35, p.p. 137–153, 2016.

- [11] Zhong, N., Zhou, L., “Methodologies for Knowledge Discovery and Data Mining”, in Proc. Third Pacific-Asia Conference, Pakdd-99, p. 26-28, China, 1999.
- [12] Akpınar, H., *Knowledge Discovery and Data Mining in Databases*, İstanbul Univ. Journal of Business Administration, vol. 29, no. 1, p.p. 2000.
- [13] [Online]. Available: <https://www.ibm.com/tr-tr/products/spss-modeler> 27.02.2020
- [14] Silahtaroglu, G., *Data Mining*, İstanbul:Papatya Publishing, 2016
- [15] Bulut, F . (2016). *The Right Professional Preference with Multilayer Perceptron*. Anadolu University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering , 17 (1) , 97-109 . DOI: 10.18038/btda.45787
- [16] Irmak, S., Köksal, C. D., Asilkan, Ö., (2012) *Predicting Future Patient Volumes of the Hospitals by Using Data Mining Methods*. International Journal of Alanya Faculty of Business, 4 (1),101-114.
- [17] Alpar, R. (2003) *Introduction to Applied Multivariate Statistical Methods* 1. 2nd Edition, Nobel Book-House, Ankara.
- [18] Efe, E., Bek, Y., Şahin, M. (2000) *Statistical Methods with Solutions in SPSS II*, Kahramanmaraş Sütçü İmam University Rectorate Publication No: 10, Kahramanmaraş.
- [19] Çakır Zeytinoğlu, F. (2007) *Effects of Current Assets of Businesses on Sales: Selection of the Best Regression Equation and Sectoral Comparison*. Marmara University İ.İ.B.F. Journal, 23 (2): 331-349.
- [20] Montgomery, D.C., Peck, E.A., Vining, G.G. (2001) *Introduction to Linear Regression Analysis*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York
- [21] Işık, A.(2006) *Applied Statistics-II*. Beta Edition, İstanbul.

Araştırma Makalesi – Research Article

Keten Kumaşların Isırgan Otu ile Boyanabilirliğinin İncelenmesi

Fazlıhan YILMAZ^{1*}

Geliş / Received: 30/03/2020

Revize / Revised: 25/05/2020

Kabul / Accepted: 28/05/2020

ÖZ

İnsanlar, seçme şanslarının olduğu her fırsatta ilk başta doğal kökenli ürünleri tercih etmektedirler. Bunun asıl sebebi ise kimyasal kökenli ürünlerin sağlığa olan olumsuz etkileridir. Bu bağlamda, yapılan bu çalışmada keten kumaşların ısırgan otu ile boyanabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Isırgan otu kuru halde temin edildikten sonra deşirmenden geçirilerek öğütülmüş ve boyama denemelerinde öğütülmüş olan bu kısım kullanılmıştır. Boyamada 6 farklı metal tuzu mordan maddesi olarak kullanılmıştır. Ayrıca mordan maddesi kullanımı olmadan da boyama denemeleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bu 6 farklı mordan maddesi ise; Potasyum alüminyum sülfat (Şap) ($KAlSO_4 \cdot 10H_2O$), çinko klorür ($ZnCl_2$), potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$), demir II sülfat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), kalay II klorür ($SnCl_2 \cdot 2H_2O$), bakır II sülfat ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) dır. Boyama işlemleri tamamlandıktan sonra boyanmış olan kumaş numunelerinin spektrofotometre yardımıyla CIELAB (L^* , a^* , b^* , C^* ve h°) ve K/S değerleri ölçülmüştür. Ayrıca boyanmış olan kumaş numunelerinin yıkama ve ışık haslığı testleri de yapılmıştır. Bu işlemler sonucunda ısırgan otunun keten kumaşların renklendirilmesinde kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Doğal boya, Mordan, Isırgan otu, Renk, Haslık*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: fazlihan.yilmaz@atauni.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-2778-163X>)
Atatürk Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü, Erzurum

Investigation of the Dyeability of Linen Fabrics with Nettle

ABSTRACT

People always prefer products of natural origin whenever they have the opportunity to choose. The main reason for this is the negative effects of products of chemical origin on health. In this context, this study aimed to investigate the dyeability of linen fabrics with nettle. After the nettle was obtained in a dry state, it was milled by passing through the mill and this part, which was ground in dyeing experiments, was used. Six different metal salts were used as mordant in dyeing processes. In addition, dyeing experiments were carried out without the use of mordant. These 6 different mordant substances used are; Potassium aluminum sulfate (Alum) ($KAlSO_4 \cdot 10H_2O$), zinc chloride ($ZnCl_2$), potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$), iron II sulfate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), tin II chloride ($SnCl_2 \cdot 2H_2O$), copper II sulfate ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$). After the dyeing process, CIELAB (L^* , a^* , b^* , C^* and h°) and K / S values of the dyed fabric samples were measured with a spectrophotometer. In addition, washing and light fastness tests of the dyed fabric samples were carried out. As a result of these processes, it was determined that nettle can be used for coloring linen fabrics.

Keywords- *Natural dye, Mordant, Nettle, Colour, Fastness*

I. GİRİŞ

İnsanoğlu başlangıçta, yaşamını devam ettirebilmek için bitkileri beslenme amacıyla kullanmıştır. Daha sonrasında barınma ve örtünme ihtiyacını yine bitkisel liflerle ve bunun yanında hayvansal lifleri kullanarak gidermiştir. Bitkisel kaynaklı doğal boyarmaddeleri ise estetik kaygıyla, çevresini güzelleştirme ve statü belirlemek amacıyla bitkilerden yararlanarak elde etmiştir [1]. Türkiye’de doğal boyacılık bir ata sanatı olarak uzun sürelerden beri yapılmıştır. Doğal Boyacılık Türklerde ileri düzeylerde uygulanmış ve Dünyada doğal boyacılık açısından örnek teşkil etmiştir [2]. Birçok tekstil mamulünün boyanmasında kullanılan ve dünyaca ünlü olan “Türk Kırmızısı” veya “Edirne Kırmızısı” adıyla anılan doğal boyarmadde de mevcuttur. Bu da kök boyadır [3].

Gelişen teknoloji, çevre kirliliğini de yanında getirmiştir. İncelen ozon tabakası, artan hava ve su kirliliği, azalan yeşil alanlar gibi olumsuzluklar karşısında özellikle gelişmiş ülkelerde duyarlı bir kamuoyu oluşmaya başlamıştır. Günümüzde çevre dostu tekstiller konusu giderek artan bir önem kazanmaktadır [4]. Son yıllarda tekstil terbiye işlemlerinde kullanılan sentetik boyarmaddelerin ve pigmentlerin kullanımı insan sağlığına ve çevreye verdiği zarardan ötürü tartışılmaktadır. Bu sebeple, biyolojik olarak parçalanabilirliği, toksik olmaması, insan sağlığı ve atık su kontaminantı için herhangi bir sorun oluşturmaması sebebiyle doğadaki bitkilerden elde edilen doğal boyarmaddelerin kullanımı artmaya başlamıştır [5]. Çevre ile ilgili endişeler ve farkındalık, çevreyi ve insan sağlığını daha az etkileyen sürdürülebilir ürün ve süreçlerin geliştirilmesini desteklemiştir [6]. Geçmişte yaygın olarak kullanılan kimyasal maddelere alternatif %100 doğal ürünler kullanılması yönünde araştırmalar giderek önem kazanmaktadır. Boyarmadde ihtiva eden atık sular üzerindeki kısıtlamalar da araştırmacıları doğal boyarmaddeleri kullanmaya yöneltmiştir. Çevreyi kirletmeyen doğal boyarmaddeler mordanların da kullanılmasıyla birlikte iyi haslık özellikleri ve çok sayıda farklı renkler elde etmeye uygundur [7]. Doğal boyarmaddeler çevre dostu, tehlikesiz ve sürdürülebilirdir [8]. Doğal boyarmadde kaynakları temel olarak üç gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar; bitkisel, hayvansal ve madensel boyarmaddelerdir. Bu gruplar içerisinde, bitkisel boyarmaddeler en fazla kaynağı sunmaktadırlar. Yalnızca tekstil endüstrisinde değil gıda, kozmetik, tıp gibi birçok endüstri alanında doğal boyalar üzerine araştırmalar yapılmaktadır [9]. Bitkiden elde edilen renk tonu, bitkinin toplandığı mevsime, nasıl yetiştirildiğine ve toprak koşullarına göre değişecektir. [10].

Isırgan (*Urtica*), ısırgangiller (*Urticaceae*) familyasının *Urtica* cinsinden Mayıs-Ağustos ayları çiçek açan bir bitkidir [11]. Isırgan otu ülkemizde tarla, yol ve orman kıyılarında doğal olarak bulunan tek veya otsu bir tıbbi bitkidir. Özellikle Karadeniz Bölgesinde çok yoğun olarak yayılış gösteren bitki kimyasal içerik yönünden oldukça zengin, yüzyıllardan beri, ilaç, gıda, lif, boya ve kozmetik olarak kullanılmaktadır [12]. Adını üzerinde bulunan yakıcı tüylerden alan ısırgan otu, ailesinde 48 cins ve 1050 tür sınıflandırılmaktadır [13]. Yetiştiriciliği diğer bitkilere baskın olması ve nemli alanlarda hızla gelişmesi sebebiyle basittir [14].

Literatürde ısırgan otu kullanılarak yapılan boyama denemeleri mevcuttur. Örneğin; 2015 yılında Karabulut’un yaptığı çalışmada, farklı bitkilerin yanı sıra ısırgan otu kullanarak da pamuklu kumaşların renklendirilebilirliği araştırılmıştır. Sonuç olarak pamuklu kumaşların ısırgan otu kullanılarak renklendirilebileceğini tespit etmiştir [15]. 2015 yılında yapılan bir başka çalışmada ise farklı bitkiler ve ısırgan otu kullanılarak akrilik lifinin boyanabilirliği incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda akrilik liflerinin ısırgan otu yardımıyla boyanabileceği tespit edilmiştir [16].

Son zamanlarda yaşanan gelişmelerle birlikte doğal maddelere her alanda ilgi artmıştır. Bu bağlamda yapılan bu çalışmada tekstil boyamacılığında bir bitkisel kaynağın kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Bu bitkisel boyarmadde kaynağı ise ısırgan otudur. Böylece kimyasal boyarmaddelerin zararlı etkilerinden kaçınılacak ve doğal boyarmaddelerin tekrardan önem kazanması hedeflenmektedir.

II. MATERYAL VE METOT

Çalışma kapsamında %100 keten kumaşın ısırgan otu ile boyanabilirliği araştırılmıştır. Keten kumaş boyama işlemlerine hazır halde gerekli ön işleminden geçmiş şekilde temin edilmiştir. Isırgan otu ise yapılan boyama denemelerinde bitkisel boyarmadde kaynağı olarak seçilmiştir.



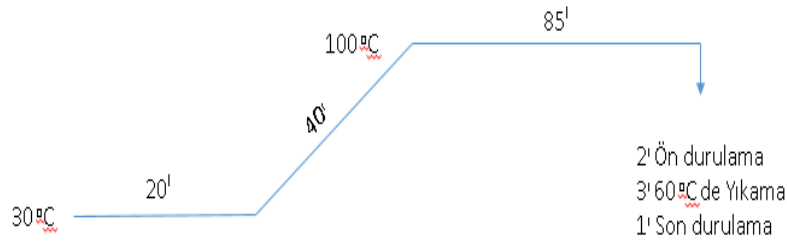
Şekil 1. Kuru halde tedarik edilen ısırgan otu



Şekil 2. Öğütülmüş ısırgan otu

Şekil 1.'deki gibi kuru halde tedarik edilen ısırgan otu boyama işleminde kullanılmadan önce öğütücü yardımıyla öğütülmüş ve Şekil 2'deki forma getirilmiştir ve yapılan bütün boyama denemelerinde öğütülmüş olan ısırgan otu herhangi bir ön işlem görmeden direkt olarak kullanılmıştır.

Boyama denemeleri mordan maddesi kullanılmadan ve ayrıca mordan maddesi kullanılarak da yapılmıştır. Mordan maddesi olarak ise 6 farklı metal tuzu kullanılmıştır. Bunlar; Potasyum alüminyum sülfat (Şap) ($KAlSO_4 \cdot 10H_2O$), çinko klorür ($ZnCl_2$), potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$), demir II sülfat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), kalay II klorür ($SnCl_2 \cdot 2H_2O$), bakır II sülfat ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) dır.



Şekil 3. Boyama diyagramı

Boyama işlemine geçilmeden önce keten kumaş numunelerinin boyama denemelerine hazır hale getirilebilmesi için 2 gram olarak kesilme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi ısırgan otu boyama işlemlerinde herhangi bir ekstraksiyon düzeneği kullanılmadan direkt olarak boyama banyosuna eklenmiştir. Yani öğütülmüş olan ısırgan otu direkt olarak kullanılmıştır. Flotte oranı bütün boyama denemeleri için kumaş ağırlığıyla orantılı olarak 1:75 oranında ayarlanmıştır. Mordan maddesi konsantrasyonu ise kumaş ağırlığıyla orantılı olarak %3 seçilmiştir (şap hariç). Şap mordan maddesi kullanılan boyama denemelerinde ise mordan maddesi kumaş ağırlığıyla orantılı şekilde %25 olarak ayarlanmıştır. Yapılan boyama işlemlerinde birlikte mordanlama yöntemi kullanılmıştır. Yani kumaş, mordan maddesi ve ısırgan otu hep birlikte boyama banyosuna eklenmiştir. ısırgan otu kullanılarak yapılan boyama işlemlerinde bitkisel boyarmadde miktarı (kumaş ağırlığı/bitkisel kaynak) ise 2 farklı oran olan, 1:0,5 ve 1:2 olarak ayarlanmıştır. Bu işlemler gerçekleştirildikten sonra boyama denemelerine başlanılmıştır.

Şekil 3'de ısırgan otu kullanılarak keten kumaşların boyanma işleminde kullanılan boyama diyagramı sunulmuştur. Bu diyagram incelendiğinde keten kumaş, ısırgan otu ve eğer kullanılacaksa mordan maddesi boyama banyosuna eklenildikten sonra 30 °C'de boyama işlemine başlanılmıştır. Bu sıcaklıkta 20 dakika boyunca işlem gerçekleştirildikten sonra 40 dakikada 100 °C'ye çıkılmıştır. Daha sonrasında 85 dakika boyunca 100 °C'de boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Boyama denemeleri tamamlandıktan sonra keten kumaş

numuneleri boya banyosundan alınarak ilk önce 2 dakikalık bir ön durulama işlemi görmüştür. Daha sonrasında boyanmış olan keten kumaş numuneleri 3 dakika boyunca 60 °C’de asıl yıkama işlemine alınmıştır. Asıl yıkama işlemi de tamamlandıktan sonra son olarak keten kumaş numuneleri 1 dakikalık durulama işlemi görmüştür. Boyama ve yıkama adımı da bitirildikten sonra hiçbir ısıtıcı kullanılmadan keten kumaş numuneleri oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

Boyanmış, yıkanmış ve kurutulmuş olan kumaş numuneleri gerekli ölçümleri yapılmak üzere hazır hale getirilmiştir. İlk başta boyalı kumaş numunelerinin renk ölçüm testleri gerçekleştirilmiştir. Yani spektrofotometre yardımıyla CIELAB (L*, a*, b*, C*ve h°) ve K/S (renk verimliliği) değerleri ölçülmüştür. Daha sonrasında boyanmış olan keten kumaş numunelerinin kullanım açısından gerekli özellikleri gösterip gösteremediğinin araştırılması için yıkama ve ışık haslığı testleri de gerçekleştirilmiştir. Işık haslığı testi ISO 105-B02 standardına göre (mavi skala) [17] ve yıkama haslığı testi ISO 105-C10standardına göre (gri skala) [18] değerlendirilmiştir. Bütün bu yapılan ölçümlerin sonuçları ise 3. Bölümde tablolar halinde düzenlenerek sunulmuştur.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada ısırğan otu kullanılarak keten kumaşların renklendirilip renklendirilemeyeceği araştırılmıştır. Materyal-Metot’da sunulan bilgiler doğrultusunda boyama denemeleri gerçekleştirilmiştir ve bu bölümde ise bu denemeler neticesinde elde edilen bulgular sunulmuştur.















L* açıklık eksenidir. Bu değer ideal siyahı sıfırdan başlayıp, ideal beyaz için 100’e ulaşır. Yani L* değeri ideal siyah için sıfır, ideal beyaz için 100’dür. “a*” kırmızı-yeşil eksenini, “b*” sarı-mavi eksenini, “C” doygunluğu ve “h°” renk cinsini (h= 0° Kırmızı, h= 90° Sarı, h= 180° Yeşil, h= 270° Mavi) vermektedir [19].

Tablo 1’deki L* değerleri incelendiğinde, mordan maddesi kullanılmadan 1:0,5 boyama konsantrasyonunda yapılan boyama deneyinde L* değeri 80,74 olarak tespit edilmiştir. Yine mordan maddesi kullanılmadan 1:2 boyama konsantrasyonunda yapılan boyama işleminde ise L* değeri 77,23 olarak karşımıza çıkmaktadır. Yani kullanılan bitkisel boyarmadde miktarı arttığında L* değerinde düşüş meydana gelmiştir. Genel olarak yapılan bütün boyama denemeleri incelendiğinde en yüksek L* değeri 84,68 olarak bulunurken en düşük L* değeri ise 74,37 olarak gözlemlenmiştir. En yüksek L* değerine 1:0,5 boyama konsantrasyonunda şap mordan maddesi kullanılarak yapılan boyama denemesinde ulaşılmıştır. En düşük L* değeri ise 1:2 boyama konsantrasyonunda çinko klorür mordan maddesi kullanılarak elde edilmiştir. Genel olarak boyama konsantrasyonu arttığında L* değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.

Isırğan otu kullanılarak boyanmış olan keten kumaşlarda bej, açık yeşil, açık sarı ve krem rengi elde edilmiştir. Örneğin; Kalay II klorür mordan maddesi kullanılarak 1:2 boyama konsantrasyonunda yapılan boyama deneyinde a*= -0,23, b*= 11,96 ve h°= 91,13 olarak ölçülmüştür. Bu boyama deneyinde renk açık sarı olarak algılanmaktadır. Bir başka boyama denemesinde ise 1:2 boyama konsantrasyonunda bakır II sülfat mordan maddesi kullanılmış ve h°= 99,61, a*= -1,72 ve b*= 10,16 olarak tespit edilmiştir. Bu boyama denemesinde ise renk açık yeşil olarak algılanmaktadır. Son olarak mordan maddesi kullanılmadan 1:0,5 boyama konsantrasyonunda yapılan boyama işleminde ise a*= -0,63, b*= 8,88 ve h°= 94,06 olarak ölçülmüştür. Bu boyama denemesinde elde edilen renk ise krem rengi olarak algılanmaktadır.

Tablo 1’deki K/S (renk verimliliği) değerleri incelendiğinde ise mordan maddesi kullanılmadan 1:2 boyama konsantrasyonunda 0,57 değerinin elde edildiği gözlemlenmiştir. Boyama konsantrasyonu düştüğünde yani 1:0,5 konsantrasyonda mordan maddesi kullanılmadan yapılan boyama denemesinde ise 0,42 değerinin elde edildiği tespit edilmiştir. Yani boyama işleminde kullanılan bitkisel boyarmadde kaynağının miktarı arttığında renk verimliliği değerinde de artış olduğu görülmüştür. En düşük K/S değeri 0,38 dir. Bu değere 1:0,5 boyama konsantrasyonunda şap mordan maddesi kullanılarak yapılan boyama denemesinde ulaşılmıştır. En yüksek değer ise yine şap mordan maddesi kullanılarak 1:2 boyama konsantrasyonunda yapılan boyama denemesinde elde edilmiştir. Bu değer ise 0,79 olarak karşımıza çıkmaktadır. İstisnasız olarak boyarmadde konsantrasyonu arttığında K/S değerlerinde de artış meydana gelmiştir.

Tablo 1. Isırgan otu kullanılarak boyanmış olan keten kumaşların CIELAB (L*, a*, b*, C*ve h°) ve K/S değerleri

Boyama Konsantrasyonu	Mordan tipi	Elde Edilen Renkler	K/S	CIE L*a*b* (D65)				
				L*	a*	b*	C*	h°
1:0,5	<i>Mordansız</i>		0,42	80,74	-0,63	8,88	8,91	94,06
1:2	<i>Mordansız</i>		0,57	77,23	-1,11	9,44	9,5	96,74
	<i>Bakır II Sülfat</i>		0,5	77,93	-0,28	9,16	9,17	91,78
	<i>Kalay II Klorür</i>		0,41	83,66	-0,21	9,93	9,94	91,19
1:0,5	<i>Demir II Sülfat</i>		0,44	78,94	-1,26	9,12	9,21	97,85
	<i>Çinko Klorür</i>		0,48	78,72	-1,53	9,94	10,06	98,73
	<i>Potasyum Dikromat</i>		0,59	78,2	-0,24	11,46	11,46	91,21
	<i>Şap</i>		0,38	84,68	-0,65	11,52	11,54	93,22
1:2	<i>Bakır II Sülfat</i>		0,61	76,82	-1,72	10,16	10,31	99,61
	<i>Kalay II Klorür</i>		0,62	80,42	-0,23	11,96	11,96	91,13
	<i>Demir II Sülfat</i>		0,68	74,82	-2,05	10,88	11,07	100,67
	<i>Çinko Klorür</i>		0,71	74,37	-1,67	10,95	11,08	98,66
	<i>Potasyum Dikromat</i>		0,65	77,49	-0,37	12	12	91,77
	<i>Şap</i>		0,79	78,08	-0,47	13,52	13,53	91,97

Daha öncede bahsedildiği gibi ısırgan otu kullanılarak boyanmış olan keten kumaşların ışık ve yıkama haslığı testleri de gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda da elde edilen değerler Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2’deki ışık haslığı test sonuçları incelendiğinde, mordan maddesi kullanılmadan 1:0,5 boyama konsantrasyonunda yapılan boyama deneyinde ışık haslığı değeri 4 olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde yine mordan maddesi kullanılmadan 1:2 boyama konsantrasyonunda yapılan boyama denemesinde ise ışık haslığı değeri 4-5 olarak ölçülmüştür. Burada görülmektedir ki mordan maddesi kullanılmadan yapılan boyama denemesinde bitkisel boyarmadde miktarı arttığında ışık haslığı değerinde de artış meydana gelmiştir. Genel olarak ışık haslığı değerleri incelendiğinde ise yapılan boyama deneylerinde bitkisel boyarmadde miktarı arttığında ışık haslığı değerleri ya artmıştır ya da sabit kalmıştır. Işık haslığı açısından en yüksek 4-5 değeri, 1:2 mordansız boyamaya ek olarak aynı zamanda demir II sülfat ve potasyum dikromat mordan maddelerinin kullanımıyla yapılan boyama denemelerinde elde edilmiştir.

Isırgan otu ile boyanmış olan keten kumaş numunelerinin yıkama haslık testleri de yapılmıştır. Burada L değeri keten kumaşı kirletme değeridir. Genel itibariyle yıkama haslığı test sonuçları incelendiğinde hem referans kumaşı kirletme açısından hem de renk değişimi açısından 4 ile 5 arasında değişen değerlerin elde edildiği gözlemlenmiştir. Renk değişimi açısından en düşük değer 4 olarak, bakır II sülfat mordan maddesi kullanılarak 1:0,5 boyama konsantrasyonunda yapılan boyama deneyinde elde edilmiştir. En yüksek değer ise 5 olarak, birden fazla boyama denemesinde bulunmuştur. Referans kumaşı kirletme değeri olarak ise bütün boyama denemelerinde 5 değerine ulaşılmıştır.

Tablo 2. Boyanmış keten kumaşların ışık ve yıkama haslığı test sonuçları

Mordan Maddesi	Boyama Konsantrasyonu			
	1:0,5		1:2	
	Işık Haslığı	Yıkama Hashğı	Işık Haslığı	Yıkama Hashğı
Mordansız	4	R 4-5	4-5	R 4-5
		L 5		L 5
<i>Bakır II Sülfat</i>	4	R 4	4	R 4-5
		L 5		L 5
<i>Kalay II Klorür</i>	4	R 5	4	R 5
		L 5		L 5
<i>Demir II Sülfat</i>	4	R 5	4-5	R 5
		L 5		L 5
<i>Çinko Klorür</i>	4	R 4	4	R 5
		L 5		L 5
<i>Potasyum Dikromat</i>	4	R 5	4-5	R 5
		L 5		L 5
<i>Şap</i>	4	R 4-5	4	R 4-5
		L 5		L 5

IV. SONUÇLAR

Renk hayatımızın her alanında olduğu gibi tekstil sektöründe de önde gelen olgulardan biridir. Tekstil mamullerinin renklendirilme işlemlerinde günümüzde genellikle sentetik boyarmaddeler kullanılmaktadır. Ancak insanların kimyasal kökenli maddelere karşı olan önyargıları nedeniyle son zamanlarda doğal boyarmaddelerin kullanımı tekrardan gündeme gelmiştir. Bu kapsamda yapılan bu çalışmada ısırgan otunun keten kumaşların renklendirilmesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Özellikle mordan maddesi kullanımı olmadan keten kumaşların ısırgan otuyla renklendirilebileceği ve gerekli haslık özelliklerini de gösterebileceği tespit edilmiştir. Bu da özellikle istenilen bir durumdur. Çünkü genellikle mordan maddesi boyarmaddeyi liflere iyi bağlayarak haslık özelliklerini geliştirmektedir. Ancak burada mordan maddesi kullanımı olmadan da gerekli ve yeterli haslık özellikleri sağlanmıştır. Renk verimliliği (K/S) boyama denemelerinde önemli bir faktördür. **Isırgan otu** kullanılarak yapılan boyama denemelerinde en düşük K/S değerine 1:0,5 boyama konsantrasyonunda şap mordan maddesi kullanılarak yapılan boyama denemesinde ulaşılmıştır ve bu değer 0,38. En yüksek değer ise yine şap mordan maddesi kullanılarak 1:2 boyama konsantrasyonunda yapılan boyama denemesinde elde edilmiştir. Bu değer ise 0,79 olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan 6 farklı mordan maddesi yardımıyla da farklı renk tonlarının açığa çıkacağı bulunmuştur. Çalışma genelinde de yapılan ışık ve yıkama haslığı test sonuçları da göstermiştir ki kullanım açısından bu bitkisel boyarmadde kaynağı yeterli derecede haslık değerlerine sahiptir. Sonuç olarak, ısırgan otunun bilindiği gibi farklı alanlarda da kullanım imkanı bulabilirken, ayrıca tekstil boyamacılığında da (keten kumaş) kullanılabilceği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Şanlı, H.S. Kabalıcı, O. (2019). Gaziantep yöresinde yetişen sumak (*rhus coriaria* l.) bitkisinden elde edilen renklerle yün halı ipliklerinin boyanması. *ARİŞ Halı, Dokuma ve İşletme Sanatları Dergisi*, 15, 62-77.

- [2] Şanlı, H.S. (2011). Halı ve kilim ipliklerinin boyanmasında kullanılan renkler ve bu renkleri veren bitkiler. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6(4), 464-470.
- [3] Doğan, Y. Başlar, S. Mert, H.H. Ay, G. (2003). Plants used as natural dye sources in Turkey. *Economic Botany*, 57(4), 442-453.
- [4] Aras Elibüyük, S. Yıldırım, F.F. Koptur Tasan, P. Yumru, Ş. Çörekciöğlü, M. Oktav Bulut, M. (2019). Bir tekstil işletmesinde, doğal ve sentetik boyarmaddelerle boyanmış %100 pamuklu kumaşların karşılaştırılması. *YEKARUM e-Dergi*, 4(2), 28-39.
- [5] Özdemir, H. (2018). Bodur mürver (*sambucus ebulus* l.) ile yün ipliklerin boyanması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(1), 219-228.
- [6] Silva, P.M.S. Fiaschitello, T.R. Queiroz, R.S. Freeman, H.S. Costa, S.A. Leo, P. Montemor, A.F. Costa, S.M. (2020). Natural dye from croton urucurana baill. Bark: extraction, physicochemical characterization, textile dyeing and color fastness properties. *Dyes and Pigments*, 173, 1-14.
- [7] Önem, E. Mutlu, M.M. Günay, S. Azeri, H. (2012). Soğan (*allium cepa*) yumru dış kabuğundan doğal boyarmadde ekstraksiyonu ve deri boyamada kullanımı. *Tekstil ve Mühendis*, 19(88), 1-8.
- [8] Amutha, K. Grace Annapoorani, S. Sudhapriya, N. (2020). Dyeing of textiles with natural dyes extracted from terminalia arjuna and thespesia populnea fruits. *Industrial Crops & Products*, 148, 1-8.
- [9] Teker, M.S. (2019). Güneş ışınları ile doğal boyama (solar dyeing) yöntemi. *Uluslararası Bilim, Teknoloji ve Sosyal Bilimlerde Güncel Gelişmeler Sempozyumu*, 20-22 Aralık, Ankara, 54-62.
- [10] Gokhale, S.B. Tatiya, A.U. Bakliwal, S.R. Fursule, R.A. (2004). Natural dye yielding plants in India. *Natural Product Radiancance*, 3(4), 228-234.
- [11] Karpuz, E., Karadeniz Danahaliloğlu, H., Erişen Mısırlıoğlu, S., & Tekeli, Y., (2012). Isırgan otu (*urtica dioica* l.) bitkisinin antioksidan özellikleri ve fenolik içeriği ile yağ asidi kompozisyonunun belirlenmesi. 3-7 Eylül, Hatay, 121.
- [12] Ayan, A.K. Çalışkan, Ö. Çırak, C., (2006). Isırganotu (*Urtica* spp.)'nun ekonomik önemi ve tarımı. *OMÜ. Zir. Fak. Dergisi*, 21(3), 357-363.
- [13] Yılmaz Aykul, S. Yıldırım, A. Tokgöz Gün, F. Hamamcı, A. (2018). Isırgan otunun tekstildeki yansımaları. *Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi*, 6(69), 5-9.
- [14] Kurban, M. (2012). *Isırgan otu lifinden üretilen kumaşların ön terbiye işlemlerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [15] Karabulut, K. (2015). Pamuklu Örme Kumaşlara Doğal Boyalarla Boyama Yoluyla Tek Adımda Renk, UV Koruyuculuk ve Anrtibakteriyellik Kazandırılması. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü/Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- [16] Yaver, Ş. (2015). Tekstil Üretiminde Temiz Teknolojilerin Kullanılması Çerçevesinde Kimyasal Modifikasyon Yoluyla Akrilik Liflerinin Doğal Boyalarla Boyanabilirliğinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü/Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- [17] ISO 105-B02: (1994), Textiles-tests for color fastness – Part B02: Color fastness to artificial light, International Organization for Standardization, Brussels, Belgium.
- [18] ISO 105-C10: (2006), Textiles-tests for color fastness – Part C10: Color fastness to washing with soap or soap and soda, Test Condition: Test A (1), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

- [19] Duran, K. (2008). Tekstilde Renk Ölçümü ve Reçete Çıkarma. Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayını, İzmir, 308.

Araştırma Makalesi - Research Article

Tek Fazlı AA Gerilim Denetleyicilerde Güç Faktörü ve Harmonik Bozulma Arasındaki İlişkiyi Belirlemek için Deneysel Bir Çalışma

Muhammed Reşit ÇORAPSIZ^{1*}, Hakan KAHVECİ², Muhammed Fatih ÇORAPSIZ³

Geliş / Received: 14/11/2019

Revize / Revised: 09/04/2020

Kabul / Accepted: 21/05/2020

ÖZ

Bu makale, tek fazlı bir AA (TFAA) gerilim kontrolörlerinde güç faktörü ile harmonik bozulma arasındaki ilişkinin belirlenmesi ile ilgilidir. Bu çalışmanın amacı, farklı faz tetikleme açıları (FTA) sırasında güç faktörü (GF) ve toplam harmonik bozulmanın (THB) değişimini araştırmaktır. İlk olarak, yüksek frekanslarda çalışan tek fazlı AA gerilim denetleyicilerde triyak yerine tristör kullanmanın avantajlarından bahsedilmiştir. İkinci olarak, tek fazlı AA gerilim denetleyicileri için güç faktörü ve toplam harmonik bozulmalar teorik olarak incelenmiştir. Son olarak, güç faktörü ve toplam harmonik bozulma arasındaki ilişki hem benzetim hem de deneysel çalışmalar ile gösterilmiştir. Bununla birlikte, düşük çıkış gerilimlerinde, güç faktörünün (GF) oldukça azaldığı ve toplam harmonik bozulmasının (THB) önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- Tek Fazlı AA (TFAA) Gerilim Denetleyicileri, Faz Tetikleme Kontrolü, Güç Faktörü (GF), Toplam Harmonik Bozulma (THB), Matlab-SIMULINK.

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: rcorapsiz@bayburt.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5477-5299>)

Elektrik ve Enerji Bölümü, Bayburt Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 69000, Bayburt, Türkiye

²İletişim: hknkahveci@ktu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-9369-2330>)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 61080, Trabzon, Türkiye

³İletişim: corapsiz@atauni.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5692-8367>)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 25000, Erzurum, Türkiye

An Experimental Study to Determine the Relationship Between Power Factor and Harmonic Distortion in Single-Phase AC Voltage Controller

ABSTRACT

This paper deals with the determination of the relationship between the power factor and the harmonic distortion in a single-phase AC (SPAC) voltage controller. The aim of this study is to investigate the change of power factor (PF) and total harmonic distortion (THD) during different phase triggering angles (PTA). Firstly, the advantages of using thyristor instead of triac in single-phase AC voltage controllers operating at high frequencies are mentioned. Secondly, the power factor and total harmonic distortions for single-phase AC voltage controllers are theoretically examined. Finally, the relationship between power factor and total harmonic distortion are demonstrated by both simulation and experimental studies. However, it is monitored that, at lower output voltages, the power factor (PF) is pretty much reduced and total harmonic distortion (THD) is significantly increased.

Keywords- *Single-Phase AC (SPAC) Voltage Controller, Phase Triggering Control (PTC), Power Factor (PF), Total Harmonic Distortion (THD), Matlab-SIMULINK.*

I. INTRODUCTION

The main advantage of the SPAC voltage controller topology is the fact that it can generate an output AC voltage lower than the input AC voltage, depending on the phase triggering angle (PTA). In AC systems, it is desired that both the input voltage and the load voltage pure sine. In addition, due to the non-linear semiconductor elements and non-linear loads, the load voltage is generally not in the form of pure sine. For this reason, occur distortions on both the load voltage and the grid voltage. These distortions produce harmonics. On the other hand, harmonics distort the shape of the sine signal and adversely affect both the power factor and the power quality. In this study, the power factor and harmonic analysis of the single-phase voltage controller with phase triggering control were realized both simulation and experimentally. It can be said that power factor and harmonic distortion are two important parameters that affect the efficient operation of AC systems. Efforts to obtain different levels of voltage or current have led researchers to develop different energy conversion topologies. Obtaining the desired level of voltage is as important as generating and transmitting it. Many electrical devices, especially in industrial applications, require different voltage or current levels to operate. Instead of producing these current and voltage levels specifically for each device, it is much more efficient to adjust the value of a constant source to the desired current and voltage levels by means of a voltage controller. Single-phase AC voltage controllers, which have an important place in rapidly developing power electronics circuit topologies, provide power flow by adjusting the effective value of the output voltage between the effective value of the input voltage and zero. A semiconductor switch/switches is placed between the AC input source and the load, capable of switching at high frequency. This switch can be thyristor or triac. For applications up to 400Hz, triacs are used as long as they meet the power requirements, but at higher frequencies, the use of thyristors is more common [1]. As is known, a triac equivalent can be obtained by connecting the two thyristors anti-parallel. SPAC voltage controllers are widely used in lighting control, induction heating, domestic heating, tap changeover of load transformers and speed control of single-phase induction motors [2]. Although phase triggering control is simple in design, this technique suffers from harmonic distortion and low power factor problems. In order to eliminate these problems, different PWM techniques have been developed [3]. In [4], the power quality analysis of the AC chopper used in heating systems in chemical tests and research laboratories at variable phase angles were examined. In [5], speed control of a single-phase induction motor with AC chopper was performed. They examined both phase and PWM controlled AC choppers and indicated that PWM control is more appropriate in terms of harmonic distortion and power factor. In [6], the AC chopper was designed using IGBT instead of a thyristor or triac, and the differences of the study from the classical AC chopper circuit were demonstrated.

In this study, single-phase AC voltage controllers with phase triggering control have been investigated. Firstly, mathematical expressions have been obtained with the help of the electrical equivalent circuit. Then, these expressions are modelled in Matlab/Simulink environment and the output voltage is observed with different phase triggering angles. The chopper switch is realized using two thyristors connected in anti-parallel to each other. The main advantage of this structure is that it can be controlled more easily since a small number of switching elements are used compared to other AC voltage controller structures. In addition, the effects of the change of the phase triggering angle on the power factor of the system are investigated. The harmonic analysis is performed for the results obtained from the simulation. Finally, the experimental setup is prepared and the output voltage compared with the theoretical and simulation results.

II. MATERIAL AND METHOD

A. Electrical and Mathematical Analysis

As mentioned previously, the triac has advantageous at low frequencies due to the low number of legs. But, generally at high frequencies, the thyristor equivalent is preferred. This is because the thyristor has a high switching frequency. Figure 1a, shows the structure of a triac and Figure 1b, shows the thyristor equivalent of this structure.

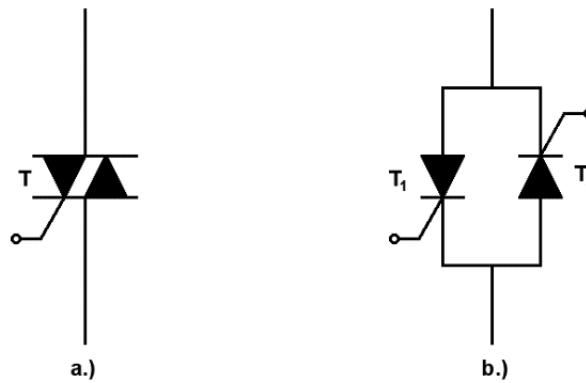


Figure 1. a.) Structure of a Triac b.) Thyristor equivalent of triac

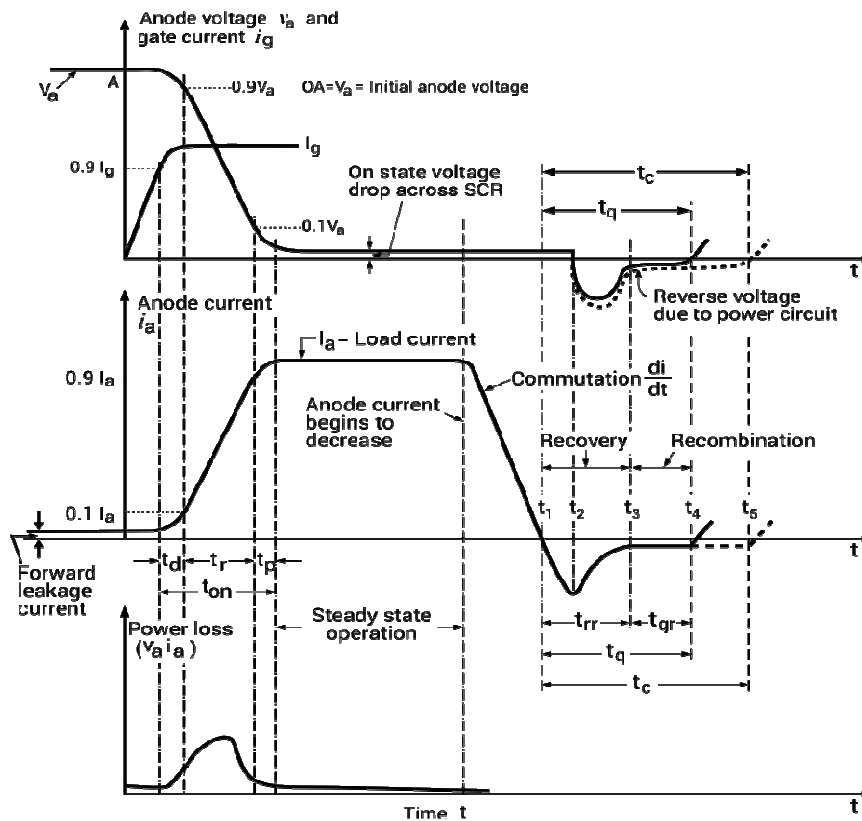


Figure 2. Switching characteristics of Thyristor (SCR) [7].

Furthermore, the dynamic switching characteristic of the thyristor (SCR) is shown in Figure 2. When a positive gate signal is applied to a forward-biased SCR, the transition of SCR from blocking state to conducting state is called as turn-on region and the time taken for SCR to traverse from the blocking state to conducting state is called as turn-on time [8]. And turn-on time defined as given in Eq.1,

$$t_{on} = t_d + t_r + t_p \quad (1)$$

Where t_d is delay time, t_r is rising time and t_p is spread time. The thyristor turn-off operation is realized in two ways. The first is reducing the anode current below its holding current level and the second is the

application of reverse voltage. When a reverse voltage is applied to a thyristor in the conduction state, the thyristor current decreases to zero at t_1 . However, since the carriers are in the conduction state, the anode current starts to flow in the opposite direction with the same slope and reaches its maximum value in time t_2 . At the end of time t_3 , this current is assumed to fall below the holding current. Thus, the thyristor is automatically turn-off until the moment t_4 . To realize the turn-off operation, a positive voltage must not be applied to the anode end during the period t_q . t_c is defined as the circuit switch-off time and must be greater than t_q for reliable commutation. Therefore, reverse recovery time t_{rr} and gate recovery time t_{gr} is are expressed as seen in Eq.2,

$$\begin{aligned} t_{rr} &= t_3 - t_1 \\ t_{gr} &= t_4 - t_3 \end{aligned} \quad (2)$$

The t_{rr} and t_{gr} are two important parameters for semiconductor elements and determine the operating frequency of semiconductor elements. Single-phase AC voltage controllers use thyristors at frequencies of 400 Hz and above because t_{rr} and t_{gr} times are shorter than triacs. Two different control methods are available in practice to control power flow with SPAC voltage controllers. The first one is On/Off control and the second is phase triggering control. In the On/Off control method, the thyristors, which are connected between the input AC source and the load, are electrically switched on and off for several periods to provide power flow. This can be similar to the operation of a contactor capable of switching at high speed. In the phase triggering control method, the anti-parallel thyristors are connected between the AC input and the load. However, for each half-period of the input, the thyristors are switched on and off at a specific switching frequency. In this case, the value between the phase triggering angle and the half-period of the input voltage is appearing on the load. By adjusting the phase triggering angle, the effective value of the output voltage is changed and thus the power flow is controlled. The switch off of the thyristors is performed by the line since the input voltage is AC (*line commutation*). Therefore, since there is no extra commutation circuit in the AC voltage controllers the circuit structures are quite simple. The quality of the AC voltage controllers is measured by total harmonic distortion and power factor. For an efficient operation, the total harmonic distortion should be as low as possible and the input power factor should be as high as possible [9].

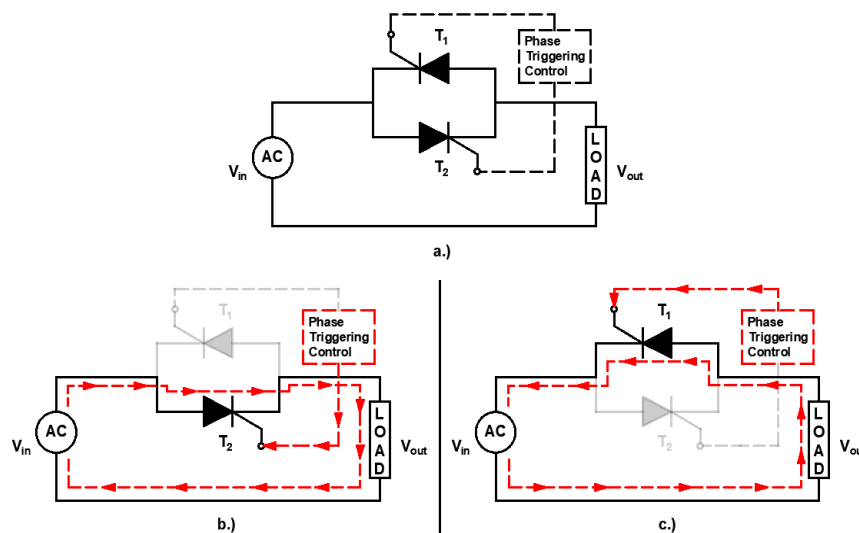


Figure 3. Electrical equivalent circuit of SPAC voltage controller

The electrical equivalent circuit of the SPAC voltage controller is shown in Figure 3. In Figure 3a, the thyristors T_1 and T_2 are connected in anti-parallel and placed between the load and the AC source. In Figure 3b, the switch T_2 is switched on, depending on the magnitude of the phase triggering angle, and the load is connected directly to the source. In Figure 3c, the T_1 switch performs this operation. The phase triggering angle is varied

between 0 and 180° to control the effective value (*RMS*) of the output voltage. The effective value of the output voltage can be expressed with Eq.3,

$$V_{o(RMS)} = \left[\frac{1}{T} \left(\int_{\alpha}^T (V_m \sin \omega t)^2 d(\omega t) \right) \right]^{1/2} \quad (3)$$

Eq. (3) can be expressed in terms of input voltage and phase triggering angle as given in Eq.4,

$$V_{o(RMS)} = V_{in} \left[\frac{1}{\pi} \left((\pi - \alpha) + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{1/2} \quad (4)$$

Where, $V_{o(RMS)}$ represents the effective value of the output voltage, V_{in} the input voltage, α phase triggering angle in radian, T electrical period, ω angular velocity, respectively. As seen in Eq. (4), the effective value of the output voltage is equal to the effective value of the input voltage for the zero value of the phase triggering angle. Hence, the SPAC voltage controllers perform power flow between the effective value of the input voltage and zero. In addition, the variation of the *PF* must be taken into account when realizing the power flow. The output effective power can be expressed as given in Eq. (5).

$$P_{o(RMS)} = I_{o(RMS)}^2 R_L \quad (5)$$

PF is defined as the ratio of the output effective power to the input effective power. Also, *PF* is one of the two most important parameters limiting the application of AC voltage controllers and can be expressed as in Eq. (6).

$$PF = \frac{I_{o(RMS)}^2 R_L}{V_{in(RMS)} I_{in(RMS)}} \quad (6)$$

Where, *PF* represents the power factor, $I_{o(RMS)}$ the effective value of the output current, R_L load, $V_{in(RMS)}$ and $I_{in(RMS)}$ the effective values of the input voltage and input current, respectively. The other parameter affecting the performance of AC voltage controllers is the *THD*. Harmonics are very important for the electricity grid. In order to connect a system to the electricity grid, both the *PF* and the *THD* must be at a certain level. Power electronic circuits, which become widespread day by day, cause harmonic distortion in electrical networks. In addition, harmonic distortion is often caused by non-linear loads. Photovoltaic systems, inductors, and circuits containing semiconductor elements are an example of these loads. When these loads are connected to the grid, they cause harmonic currents and voltages.

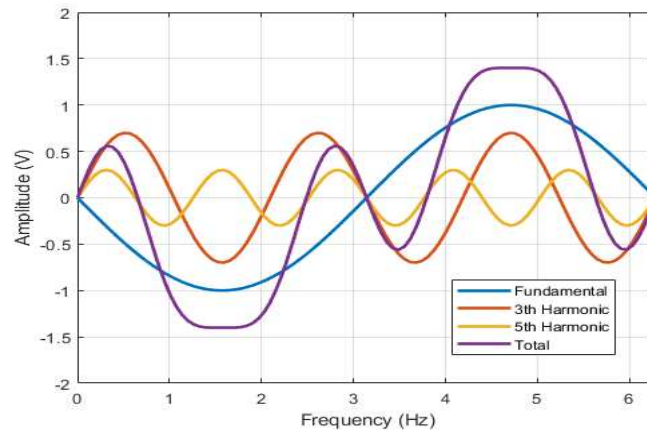


Figure 4. Harmonic distortion

However, these loads do not change the grid frequency. Figure 4 shows the fundamental component of a voltage signal, the third and fifth harmonics and mains voltage signal consisting of their sum. As can be seen, harmonics have negative effects on the grid voltage. Because of these effects, the grid voltage is usually not in the form of a pure sine. Therefore, oscillations occur on the grid voltage. These oscillations can be expressed as given in Eq. 7 the sum of the components (harmonics) at the fundamental frequency and other frequencies by means of Fourier analysis.

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [(a_n \cos n\omega t) + (b_n \sin n\omega t)] \quad (7)$$

Where, a_0 represents the average value, n the harmonic coefficient, a_n and b_n the Fourier coefficient of the $f(t)$, respectively.

B. Design of Simulation Model

The simulation model of the SPAC voltage controller with phase triggering control (PTC) is shown in Figure 5. This model realized by considering the electrical equivalent circuit in Figure 3, Eqs. (4) and (6).

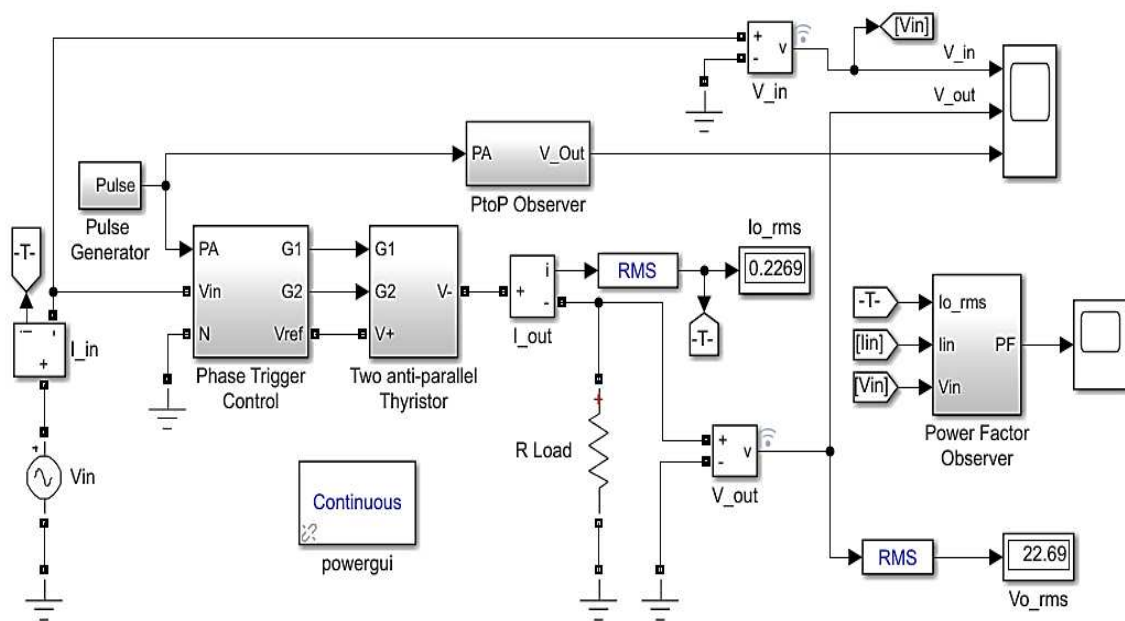


Figure 5. Simulation model of SPAC voltage controller with PTC

In Figure 5, the phase trigger control block determines the zero-crossing points of the AC voltage signal supplied from the input and generates the phase triggering angles ($G1$, $G2$). Between these angles, there should be a 180° phase difference during an electrical period. In addition, phase triggering angles given from input this block are converted to seconds using source frequency [10]. Inside the two anti-parallel thyristor block, there are two thyristors connected in anti-parallel to each other, which are supplied with the input voltage. Peak values of the output voltage in positive and negative periods were monitored with PtoP observer block. The power factor observer block, which was designed with Eq. (6) in mind, was used to monitor the variation of the power factor depending on the phase triggering angles.

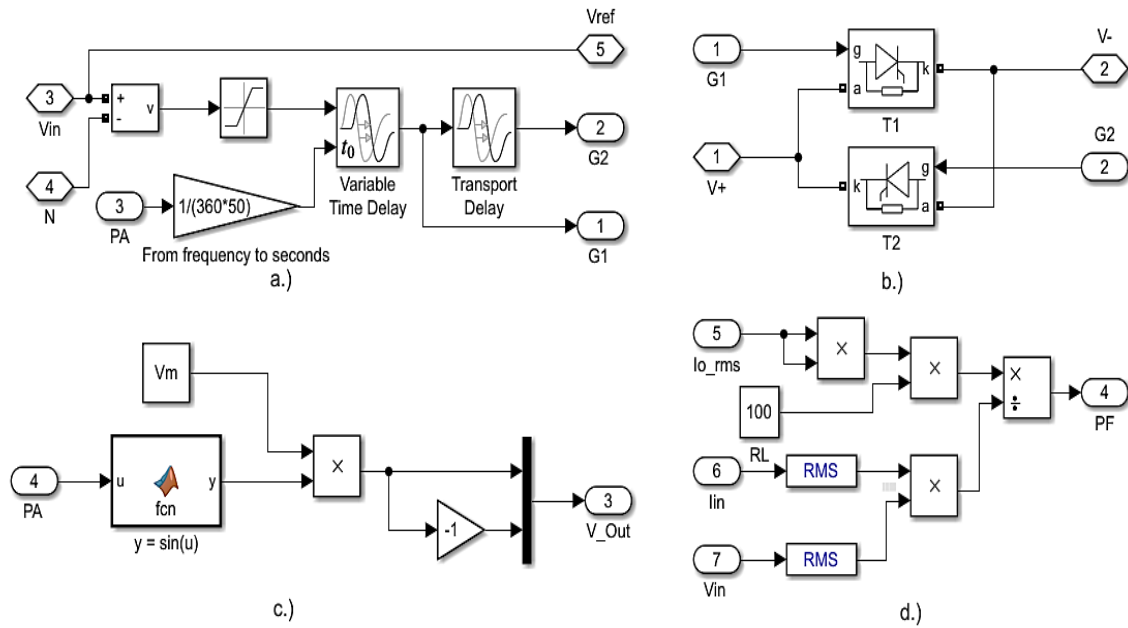


Figure 6. Internal structure of simulation blocks, a.) Phase triggering control, b.) Two anti-parallel thyristor, c.) Peak to peak observer, and d.) Power factor observer

The internal structures of the blocks used in the simulation model are shown in Figure 6. In Figure 6a, the input voltage was saturated to obtain the reference voltage. Variable time delay block generates positive phase triggering angles, while variable transport delay generates negative phase triggering angles. There must be a 180° phase difference between the positive and negative phase triggering angles. On the other hand, the gain block was used to convert the phase triggering angles from the frequency to the seconds. Fig. 6b shows the triac equivalent obtained by connecting anti-parallel two thyristors. Thyristors are generally preferred for AC voltage controllers since the reverse recovery time (t_{rr}) is shorter than triac. Fig. 6c shows the peak to peak observer for measuring the value of the output signal relative to the phase triggering angle.

This block was used to control peak value at both the positive and negative half periods of the output signal. The power factor observer block is shown in Figure 6d. This block was realized with the help of a mathematical expression of power factor. With this block, change of power factor according to phase triggering angles was observed.

C. Experimental Setup

The experimental setup is shown in Figure 7. In the experimental setup, the AC grid voltage of 220V/50Hz has been reduced to 55V/50Hz with the help of the transformer. A symmetrical 15V DC power supply has been used to energize the reference voltage, single-phase control unit, and measuring modules. This DC voltage is generated by an AC/DC converter using the grid voltage supplying the experimental setup. In order to control the effective value of the output voltage, two independent thyristor groups were connected in anti-parallel. This connection can be assumed to be equal to a triac model.

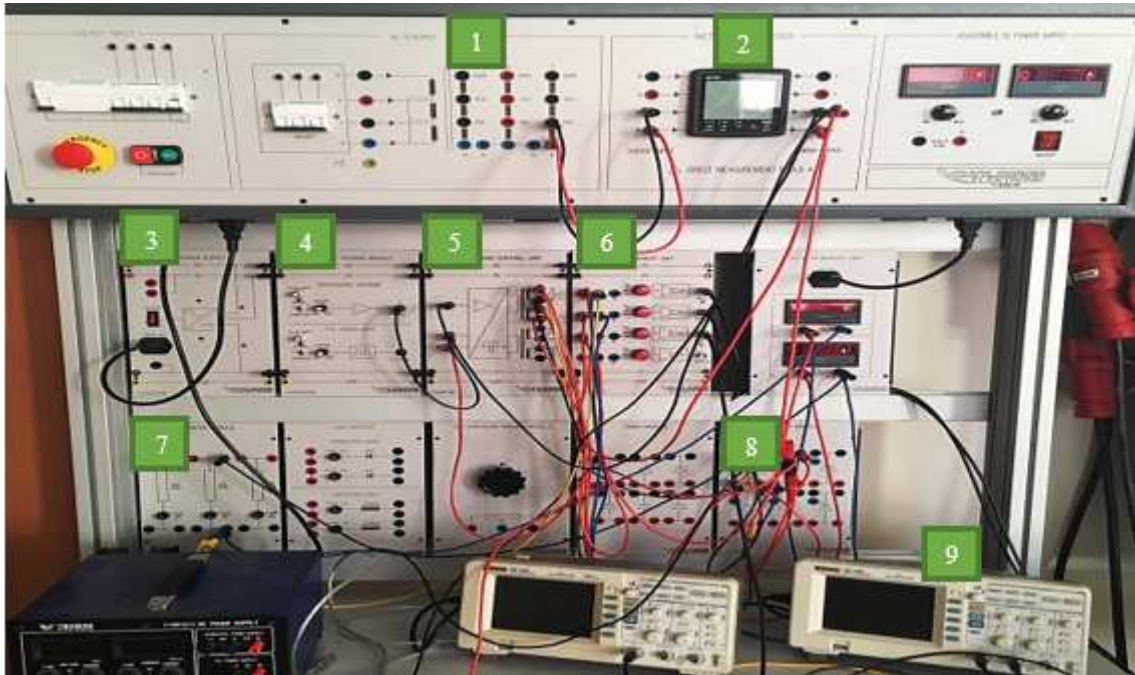


Figure 7. Experimental setup

The modules used in the experimental setup shown in Figure 7 are as follows,

- 1) 220/55 – 50 Hz Transformer,
- 2) Network analyzer for measuring phase voltage, phase current and power factor,
- 3) AC/DC converter, symmetrical 15 V,
- 4) Reference voltage module for the zero-crossing point in AC grid voltage,
- 5) Single phase control unit for the produce phase triggering angles,
- 6) and 9.) Measurement unit,
- 7) Load groups,
- 8) Two anti-parallel thyristor groups.

In the operation of the experimental setup, firstly, the AC input voltage was applied to the single-phase control unit and the reference voltage was obtained. With the help of a single-phase control unit, control signals were generated which is proportional to the reference voltage and based on the grid voltage zero-crossing points. These signals were applied to the thyristor group connected in anti-parallel to control the effective value of the output voltage under the 100Ω load. Since it is not possible to numerically adjust the phase triggering angles in the experimental setup, reference triggering angles have been tried to be obtained by means of the potentiometer. Reference phase triggering angles were selected at 30° , 60° , 90° and 120° . The block diagram of the experimental setup is shown in Figure 8.

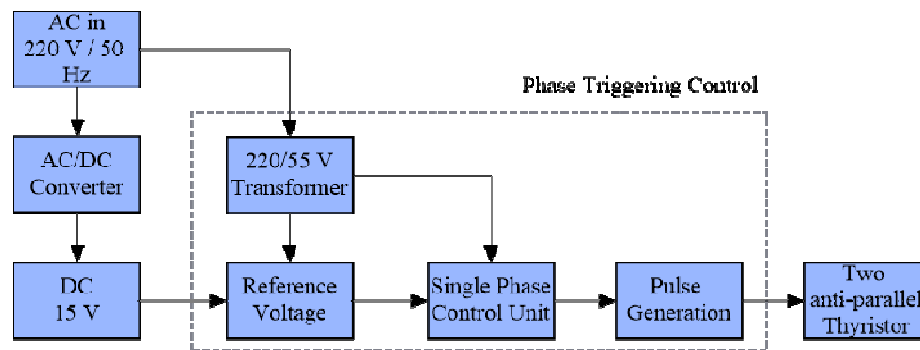


Figure 8. Block diagram of experimental setup

III. RESULT AND DISCUSSION

The simulation results of the designed model are shown in Figure 9. In the results, input voltage (*green line*) and the output voltage (*red line*) were compared. The designed phase triggering control model was successful monitored the given reference phase angles. In Figure 9a, the phase triggering angle is selected as $\alpha=30^\circ$. As can be seen from Figure 9b, when the phase triggering angle is increased to $\alpha=60^\circ$ degrees, it is clear that the effective value of the input voltage on the load is reduced compared to the previous case. Hence, keeping small of the phase triggering angle is highly effective in increasing the output effective voltage.

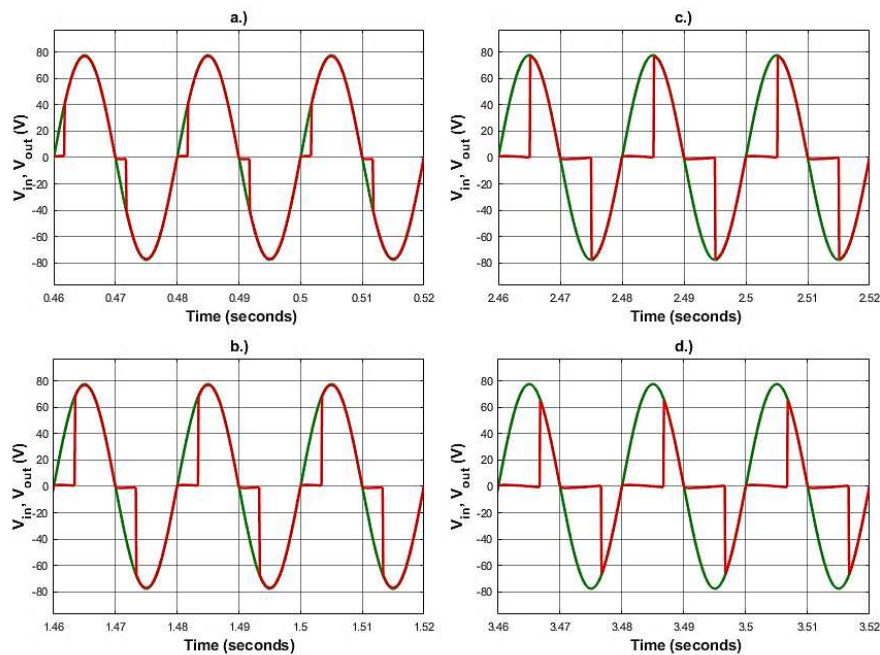


Figure 9. Change of output voltage with respect to input voltage in the designed simulation model, a.) $\alpha=30^\circ$, b.) $\alpha=60^\circ$, c.) $\alpha=90^\circ$, and d.) $\alpha=120^\circ$

Therefore, the amplitude of the phase triggering angle ranging from 0 to 180 degrees is inversely proportional to the effective value of the output voltage. At the moment when the phase triggering angles are 90° and 120° , the time-dependent variation of the output and the input voltage is shown in Figures 9c and 9d, respectively. The increase of the phase triggering angle meaning the reduction of the effective value of the output voltage. This case adversely affects power factor and causes inefficiently run of the voltage controller.

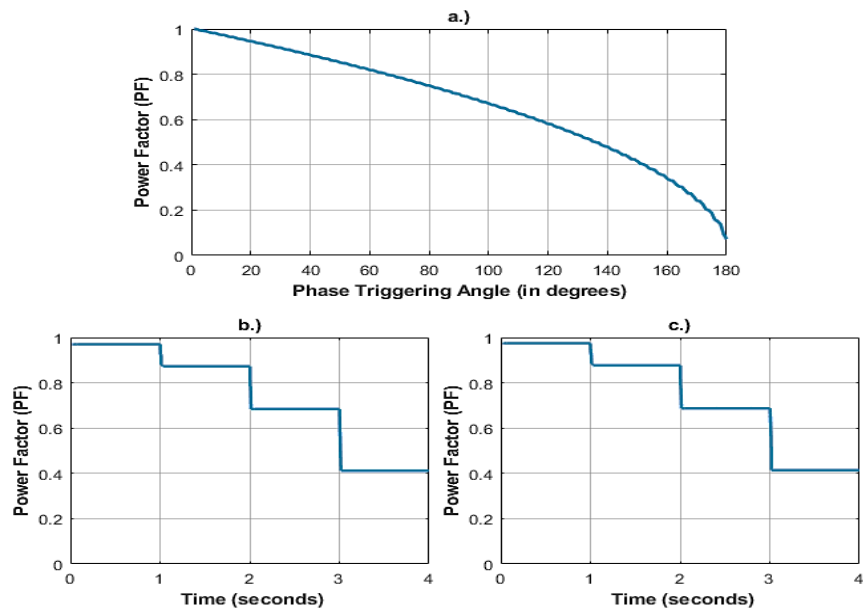


Figure 10. a.) Change of power factor versus phase triggering angle, and b.) Change of power factor versus time in the designed simulation model, c.) Change of power factor versus time in the designed experimental model

Figure 10a shows the variation of the power factor for the single-phase AC voltage controller with respect to the phase triggering angle. As can be seen from Figure 10a, the controller power factor varies inversely proportional to the phase triggering angle. This is one of the biggest problems of AC voltage controllers. Figure 10b and 10c shows the change of power factor versus reference phase triggering angles applied to the designed single-phase voltage controller in 0, 1, 2, 3 sec. simulation and experimental model, respectively. As can be seen from Figure 10b, when the phase triggering angle is applied at 30° (interval 0 - 1sec.), the power factor is 0.97, and when the triggering angle is increased to 120° (interval 3 - 4sec.), the power factor decrease to 0.41.

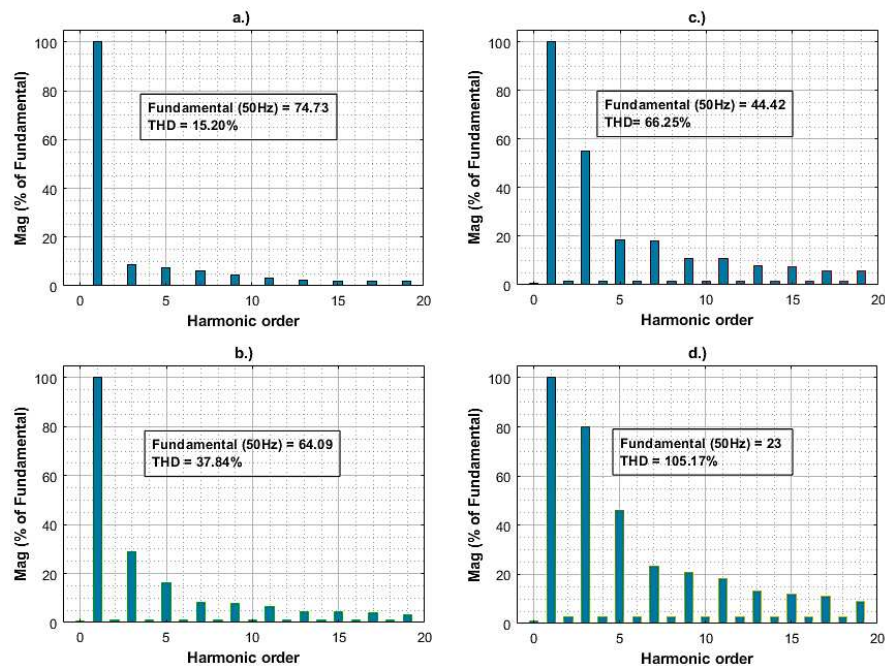


Figure 11. Change of total harmonic distortion of the output voltage, a.) $\alpha=30^\circ$, b.) $\alpha=60^\circ$, c.) $\alpha=90^\circ$, and d.) $\alpha=120^\circ$

Figure 11, shows the results of the harmonic analysis with the help of Simulink FFT analysis of the designed single-phase voltage controller based on the simulation results. Figures 11a, 11b, 11c, 11d show harmonic analysis of the output voltage for phase triggering angles of 30° , 60° , 90° and 120° , respectively. In Figure 11, the total harmonic distortion (THD) is 15.20% when the phase triggering angle is 30° , the total harmonic distortion (THD) increases to 105.17% when the phase triggering angle is increased to 120° . Therefore, increasing phase triggering angle is negatively affect both power factor and power quality.

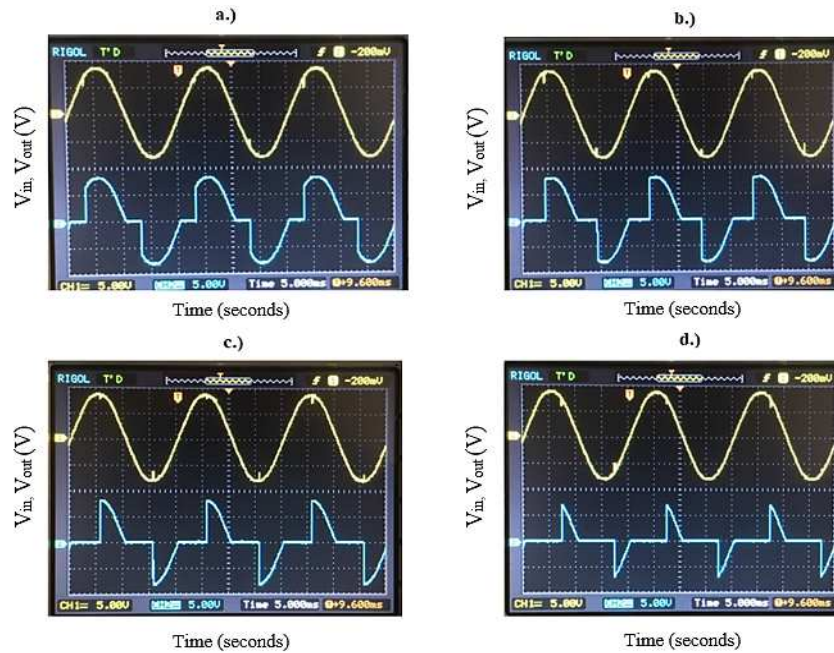


Figure 12. Change of output voltage with respect to input voltage in the designed experimental model, a.) $\alpha=30^\circ$, b.) $\alpha=60^\circ$, c.) $\alpha=90^\circ$, and d.) $\alpha=120^\circ$

The results obtained from the experimental setup are shown in Figure 12. The power factor and the effective values of the output voltage and current obtained from the simulation and experimental model are given in Table 1.

Table 1. The effective values of the output voltage, output current and power factor

Phase Triggering Angle (degree)	Phase Triggering Angle (sec.)	Simulation			Experimental		
		Output Voltage (V)	Output Current (A)	Power Factor (PF)	Output Voltage (V)	Output Current (A)	Power Factor (PF)
30	0	53.95	0.539	0.970	55.1	0.55	0.974
60	1	48.81	0.488	0.873	49.4	0.49	0.876
90	2	38.45	0.384	0.684	39.3	0.39	0.687
120	3	23.97	0.239	0.412	24.38	0.24	0.414

IV. CONCLUSION

In this study, single-phase AC voltage controller with phase angle controlled is examined both in simulation and experimentally. The voltage controller circuit is formed by connecting the two thyristors anti-parallel. The load is selected as pure resistive. The phase triggering controller is designed to achieve the desired

voltage level. The effective value of the output voltage is controlled by reference triggering angles applied to the phase triggering controller. The effects of the change of phase triggering angles on both power factor and total harmonic distortion have been demonstrated. Both the simulation and experimental results show that the phase triggering angle is inversely proportional to the power factor of the system. Increasing the phase triggering angles also significantly increased the total harmonic distortion in the output voltage. Simulation results are verified with the experimental results. When the results obtained are evaluated together, it can be said that phase triggering control is still effective in controlling the effective value of the output voltage. However, taking into account the power factor and total harmonic distortion of the system is very important for the efficient operation of the voltage controller.

REFERENCES

- [1] Rashid, M. H. (2014). *Power Electronics Devices, Circuits, and Applications*. London Pearson Education, *Fourth Edition*, 552-596.
- [2] Bodur, H. (2012). *Güç Elektroniği Temel Analiz ve Sayısal Uygulamalar*. Istanbul Birsen Yayınevi, 135-178.
- [3] Thanyaphirak, V., Kinnares, V., Kunakorn, A. (2012). PWM AC chopper control schemes for energy saving of single-phase induction motors. *10th International Power & Energy Conference (IPEC)*, 12-14 Dec. 2012, Vietnam, 82-87.
- [4] Kalla, U. K., Kumar, P., Suthar, R., Bhardwaj, T. (2018). Power Quality Analysis of Single Phase Conventional AC Chopper Based Small Power Heating Oven Systems. *8th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, 13-15 Dec. 2018, India, 1-6.
- [5] Duranay, Z. B., Güldemir, H. (2018). AA Kıyıcı Beslemeli Bir Fazlı Asenkron Motorun Hız Kontrolü. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30, 111-119.
- [6] Kumar, P. S., Mahendar B., Shruthi M. (2014). Design and Implementation of AC Chopper. *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, 2, 36-41.
- [7] Electrical Concepts. Switching Characteristics of SCR. (2018). <https://electricalbaba.com/switching-characteristics-scr/>. 4-Oct-2019.
- [8] All About Circuits. The Basics of Power Semiconductor Devices: Structures, Symbols, and Operations. (2015). <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/a-review-on-power-semiconductor-devices/>. 4-Oct-2019.
- [9] Chaturvedi, K., Mahor, A., Dwivedi, A. D. (2012). Analysis of Impact of Triggering Angle on An AC Chopper in terms of Harmonic Distortion & Power factor. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 1, 118-122.
- [10] Arifoğlu, U. (2012). *Matlab 7.14 Simulink ve Mühendislik Uygulamaları*. Istanbul Alfa Basım Yayım Dağıtım.

Araştırma Makalesi - Research Article

Genelleştirilmiş Sylvester Transpoz Matris Denklemine Simetrik – Ters Simetrik Ayrışım Metodu ile Çözümü

Murat SARDUVAN^{1*}, Esra KAPLAN²

Geliş / Received: 06/01/2020

Revize / Revised: 20/04/2020

Kabul / Accepted: 24/05/2020

ÖZ

Bu çalışmada $Ax = b$ lineer denklem sisteminin çözümü için Simetrik –Ters Simetrik Ayrışım (SSS) metodu tanıtıldı. Daha sonra

$$AXB + CXD + EX^T F = M$$

genelleştirilmiş Sylvester transpoz matris denkleminin çözümü bu metot kullanılarak ortaya konuldu. Son olarak SSS metodunun performansını resmeden sayısal bir örnek verildi.

Anahtar Kelimeler- SSS metodu, Genelleştirilmiş Sylvester transpoz matris denklemi, Kronecker çarpım, Matris normu, Spektral yarıçap.

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: msarduvan@sakarya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7049-8922>)

Matematik Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Esentepe Kampüsü, Serdivan, Sakarya

²İletişim: esra.kaplan2@ogr.sakarya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-1872-1987>)

Matematik EABD Lisansüstü Öğrencisi, Sakarya Üniversitesi, Esentepe Kampüsü, Serdivan, Sakarya

On Solution of Generalized Sylvester Transpose Matrix Equation Using Symmetric – Skew Symmetric Splitting Method

ABSTRACT

In this study, Symmetric-Skew Symmetric Splitting (SSS) method is introduced to solve the system of linear equations $Ax = b$. Then, the solution of

$$AXB + CXD + EX^T F = M$$

generalized Sylvester transpose matrix equation is established by using this method. Lastly, an example is given to illustrate the performance of the SSS method.

Keywords- *SSS method, Generalized Sylvester transpose matrix equation, Kronecker product, Matrix norm, Spectral radius.*

I. GİRİŞ

m ve n pozitif tam sayılar olmak üzere, $\mathbb{R}^{m \times n}$, $\mathbb{C}^{m \times n}$, \mathbb{R}^n ve \mathbb{C}^n , sırası ile, $m \times n$ boyutlu reel matrisler, $m \times n$ boyutlu kompleks matrisler, $n \times 1$ boyutlu reel vektörler ve $n \times 1$ boyutlu kompleks vektörler kümelerini göstermektedir. A^T ve A^* notasyonları ile herhangi bir $A \in \mathbb{C}^{m \times n}$ matrisinin, sırasıyla, transpozu ve eşlenik transpozu gösterilmektedir. $A \otimes B$ ile herhangi iki $A, B \in \mathbb{C}^{m \times n}$ matrislerinin Kronecker çarpımı gösterilmektedir.

Bir $A \in \mathbb{C}^{n \times n}$ matrisi için; eğer $A = A^*$ oluyorsa matrise hermityen, eğer $A = -A^*$ oluyorsa matrise ters hermityen matris denir. Bir $A \in \mathbb{C}^{n \times n}$ matrisi için eğer $A = A^T$ sağlanıyorsa A matrisine simetrik matris denir. Bir simetrik $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ matrisi, eğer her $x \in \mathbb{R}^n$ sıfırdan farklı vektörü için $x^T A x > 0$ koşulunu sağlıyorsa A matrisine pozitif tanımlıdır denir. Bir $A \in \mathbb{C}^{n \times n}$ matrisi için eğer M tersinir ise $A = M - N$ ifadesine, A matrisinin bir ayrışımı denir. $A = M - N$ ayrışımı kullanılarak $Mx^{(k+1)} = Nx^{(k)} + b$, $k = 0, 1, 2, \dots$ şeklinde iteratif metotlar kullanılabilir. Böylece, $C = I - M^{-1}A = M^{-1}N$ matrisi bu yapıdaki $x^{(k)}$ için katsayılar matrisi olup iterasyon matrisi adını alır. Bir $A \in \mathbb{C}^{n \times n}$ matrisi çok büyük boyutlu ve elemanlarının çoğu '0' ise A matrisine büyük seyrek matris denir. $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ özdeğerlerine sahip herhangi bir $A \in \mathbb{C}^{n \times n}$ matrisi için $\rho(A) = \max_{1 \leq i \leq n} |\lambda_i|$ değerine A matrisinin spektral yarıçapı denir.

$||| \cdot |||: \mathbb{C}^{n \times n} \rightarrow \mathbb{R}$ fonksiyonu, eğer $\forall A, B \in \mathbb{C}^{n \times n}$ için aşağıdaki beş aksiyomu sağlıyorsa matris normu olarak adlandırılır.

- (1) $|||A||| \geq 0$,
(1a) Eğer $|||A||| = 0$ ise $A = 0$ 'dır,
- (2) $c \in \mathbb{C}$ için, $|||cA||| = |c| |||A|||$,
- (3) $|||A + B||| \leq |||A||| + |||B|||$,
- (4) $|||AB||| \leq |||A||| \cdot |||B|||$.

Eğer $\forall A, B \in \mathbb{C}^{n \times n}$ için (4) özelliği hariç diğer özellikler sağlanıyorsa bu durumda $||| \cdot |||$ fonksiyonu genelleştirilmiş matris normu ya da vektör normu adını alır. Özel olarak bir $A \in \mathbb{C}^{n \times n}$ matrisi için $\|A\|_2 = \left(\sum_{i,j=1}^n |a_{ij}|^2 \right)^{\frac{1}{2}}$ şeklinde tanımlı norma Frobenius norm denir. Bir $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ matrisi için $K(A) = \|A\|_2 \cdot \|A^{-1}\|_2$ ifadesi spektral koşul sayısı olarak tanımlanır.

Literatürdeki birçok çalışmada

$$Ax = b \quad (1)$$

lineer denklem sisteminin ve bu sisteme dönüştürülebilen Lyapunov denklemleri ya da Sylvester matris denklemlerinin çözümlerini elde etmek için HSS, IHSS, MHSS, GMHSS vb. iteratif metotlar kullanılmıştır [örneğin, bakınız, 1,2,3]. M. Hajarian, genelleştirilmiş Sylvester transpoz matris denklem ikilisinin çözümünde BCR algoritması kullanmıştır[4]. Bu makalede [1] makalesinde verilen HSS metodundan esinlenerek Simetrik – Ters Simetrik Ayrışım (SSS) metodunu ortaya koyacağız ve bu metot ile genelleştirilmiş Sylvester transpoz matris denklemleri olan

$$AXB + CXD + EX^T F = M \quad (2)$$

matris denkleminin $X \in \mathbb{R}^{n \times n}$ çözümünü vereceğiz. Burada $A, B, C, D, E, F, M \in \mathbb{R}^{n \times n}$ bilinen matrislerdir.

II. ÖNBİLGİLER

Bu kısımda [1] çalışmasında ortaya konulan HSS iterasyonu tanıtılacaktır. Ayrıca, genelleştirilmiş Sylvester transpoz matris denkleminin kronecker çarpım yardımıyla (1) matris denklemi şeklinde nasıl yazılabileceği verilecektir.

HSS iterasyon metodu.

Verilen bir $x^{(0)}$ başlangıç vektörü için $\{x^{(k)}\}$, $k = 0, 1, 2, \dots$, dizisi

$$\begin{cases} (\alpha I + H)x^{(k+\frac{1}{2})} = (\alpha I - S)x^{(k)} + b \\ (\alpha I + S)x^{(k+1)} = (\alpha I - H)x^{(k+\frac{1}{2})} + b \end{cases}$$

hesaplamaları ile oluşsun. Bu işlemler $x^{(k)}$ aranan çözüme yeterince yaklaşıncaya kadar yapılsın. α burada pozitif bir sabittir [1]. Burada H ve S matrisleri Teorem 1'deki gibidir.

Bu metodun yakınsaklığını gösteren ve [1]'de verilen teorem aşağıdaki gibidir.

Teorem 1. $A \in \mathbb{C}^{n \times n}$ bir pozitif tanımlı matris olsun. Ayrıca $H = \frac{1}{2}(A + A^*)$ ve $S = \frac{1}{2}(A - A^*)$ onun hermityen ve ters hermityen kısımları ve α pozitif bir sabit olsun. Bu durumda HSS iterasyonunun $M(\alpha)$ iterasyon matrisi

$$M(\alpha) = (\alpha I + S)^{-1}(\alpha I - H)(\alpha I + H)^{-1}(\alpha I - S)$$

ile verilir. $M(\alpha)$ 'nın spektral yarıçapı $\rho(M(\alpha))$,

$$\sigma(\alpha) \equiv \max_{\lambda_i \in \lambda(H)} \left| \frac{\alpha - \lambda_i}{\alpha + \lambda_i} \right|$$

ile sınırlıdır. Burada, $\lambda(H)$, H matrisinin spektral kümesidir. Böylece $\forall \alpha > 0$ için

$$\rho(M(\alpha)) \leq \sigma(\alpha) < 1$$

sağlanır. Yani HSS iterasyonu $Ax = b$ matris denkleminin $x^* \in \mathbb{C}^n$ yegane çözümüne yakınsar [1].

Şimdi de genelleştirilmiş Sylvester transpoz matris denklemini $Ax = b$ matris denklemi ile ilişkilendireceğiz. (2) genelleştirilmiş Sylvester transpoz matris denklemi ele alınsın. Bu matris denklemini kronecker çarpım kullanılarak

$$(B^T \otimes A + D^T \otimes C + (F^T \otimes E)P) \text{vec}(x) = (\text{vec}(M))$$

şeklinde yazılabilir. Böylece,

$$\mathbb{A} := B^T \otimes A + D^T \otimes C + (F^T \otimes E)P \text{ ve } \mathbb{A} \in \mathbb{R}^{n^2 \times n^2},$$

$$x := \text{vec}(X) \text{ ve } x \in \mathbb{R}^{n^2},$$

$$b := (\text{vec}(M)) \text{ ve } b \in \mathbb{R}^{n^2}$$

olmak üzere genelleştirilmiş Sylvester transpoz matris denklemi $\mathbb{A}x = b$ biçiminde yazılabilir. Buradaki P matrisinin tanımı için aşağıdaki lemma gereklidir [7].

Lemma 1. $X \in \mathbb{R}^{n \times n}$ herhangi bir matris olsun. Bu durumda

$$\text{vec}(X^T) = P \text{vec}(X)$$

olup burada P matrisi, n tamsayısı ile belirli, tek türlü tanımlı matristir. Ayrıca P aşağıdaki özelliklere sahiptir.

i. Herhangi n tamsayısı için $P \in \mathbb{R}^{n^2 \times n^2}$ matrisi

$$\begin{bmatrix} E_{11}^T & E_{12}^T & \dots & E_{1n}^T \\ E_{21}^T & E_{22}^T & \dots & E_{2n}^T \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E_{n1}^T & E_{n2}^T & \dots & E_{nn}^T \end{bmatrix}$$

biçimine sahiptir. Burada E_{ij} , $i, j = 1, 2, \dots, n$ için (i, j) elemanı 1 ve diğer elemanları 0 olan $n \times n$ boyutlu reel matristir.

ii. Herhangi n tamsayısı için P bir ortogonal matristir. Yani,

$$PP^T = P^T P = I.$$

III. ANA SONUÇLAR

Bu kısımda A matrisinin simetrik – ters simetrik ayrışımı kullanılarak oluşturulan SSS metodu ortaya konulacaktır. Bu metodun yakınsaklığı gösterilip (2) denkleminin çözümü bu metod kullanılarak verilecektir.

Lemma 2. $A = M_i - N_i$, $i = 1, 2$, ifadeleri $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ matrisinin iki ayrışımı olsun ve $x^{(0)} \in \mathbb{R}^n$ bir verilmiş başlangıç vektörü olsun. Eğer $\{x^{(k)}\}$ iki kademeli iterasyon dizisi

$$\begin{cases} M_1 x^{(k+\frac{1}{2})} = N_1 x^{(k)} + b, \\ M_2 x^{(k+1)} = N_2 x^{(k+\frac{1}{2})} + b, \end{cases}$$

$k = 0, 1, 2, \dots$ ile tanımlanırsa bu durumda,

$$x^{(k+1)} = M_2^{-1} N_2 M_1^{-1} N_1 x^{(k)} + M_2^{-1} (I + N_2 M_1^{-1}) b \quad (3)$$

elde edilir. Ayrıca $M_2^{-1} N_2 M_1^{-1} N_1$ iterasyon matrisinin $\rho(M_2^{-1} N_2 M_1^{-1} N_1)$ değeri, 1'den küçükse bu durumda tüm $x^{(0)} \in \mathbb{R}^n$ başlangıç vektörleri için $\{x^{(k)}\}$ dizisi $Ax = b$ sisteminin $x^* \in \mathbb{R}^n$ yegane çözümüne yakınsar.

İspat.

$$M_1 x^{(k+\frac{1}{2})} = N_1 x^{(k)} + b \quad (4)$$

$$M_2 x^{(k+1)} = N_2 x^{(k+\frac{1}{2})} + b \quad (5)$$

olsun. Bu durumda M_1 tersinir olduğundan (4) ifadesinden

$$x^{(k+\frac{1}{2})} = M_1^{-1} N_1 x^{(k)} + M_1^{-1} b \quad (6)$$

olur. (6) ifadesi (5) ifadesinde yerine yazılır ve M_2 matrisinin tersinir olduğu kullanılırsa

$$x^{(k+1)} = M_2^{-1} N_2 M_1^{-1} N_1 x^{(k)} + M_2^{-1} (I + N_2 M_1^{-1}) b$$

elde edilir. ■

$A = S + R$ olacak şekilde yazılsın. Burada S simetrik, R ters simetrik matrisleri $S = \frac{1}{2}(A + A^T)$ ve $R = \frac{1}{2}(A - A^T)$ şeklinde belirtilsin. $\alpha \in \mathbb{R}^+$ olmak üzere $A = (\alpha I + S) + (R - \alpha I)$ veya $A = (\alpha I + R) + (S - \alpha I)$ yazılabilir. Bu ifadeler $Ax = b$ matris denkleminde yerine yazılırsa

$$(\alpha I + S)x = (\alpha I - R)x + b \quad (7)$$

$$(\alpha I + R)x = (\alpha I - S)x + b \quad (8)$$

elde edilir. Yani (1) denklemin (7) veya (8) şeklinde de yazılabilir. Bu çalışma boyunca S ve R matrisleri yukarıdaki gibi olacaktır. Bu durumda SSS iterasyonu şu şekilde yazılır.

SSS iterasyon metodu.

Verilen bir $x^{(0)}$ başlangıç vektörü için $\{x^{(k)}\}$, $k = 0, 1, 2, \dots$, dizisi

$$\begin{cases} (\alpha I + S)x^{(k+\frac{1}{2})} = (\alpha I - R)x^{(k)} + b \\ (\alpha I + R)x^{(k+1)} = (\alpha I - S)x^{(k+\frac{1}{2})} + b \end{cases}$$

hesaplamaları ile oluşsun. Bu işlemler $x^{(k)}$ aranan çözüme yeterince yaklaşıncaya kadar yapılsın. α burada pozitif bir sabittir.

Teorem 2. $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ pozitif tanımlı bir matris ve α pozitif bir sabit olsun. Ayrıca $S = \frac{1}{2}(A + A^T)$ ve $R = \frac{1}{2}(A - A^T)$ onun simetrik ve ters simetrik kısımları olsun. Bu durumda SSS iterasyonunun $M(\alpha)$ iterasyon matrisi;

$$M(\alpha) = (\alpha I + R)^{-1}(\alpha I - S)(\alpha I + S)^{-1}(\alpha I - R)$$

ile verilir. $M(\alpha)$ 'nın spektral yarıçapı $\rho(M(\alpha))$,

$$\sigma(\alpha) \equiv \max_{\lambda_i \in \lambda(S)} \left| \frac{\alpha - \lambda_i}{\alpha + \lambda_i} \right|$$

ile sınırlıdır. Burada $\lambda(S)$, S matrisinin spektral kümesidir. Böylece, $\forall \alpha > 0$ için

$$\rho(M(\alpha)) \leq \sigma(\alpha) < 1$$

olur. Yani SSS iterasyonu $Ax = b$ denklem sisteminin $x^* \in \mathbb{R}^n$ yegane çözümüne yakınsar.

İspat. Lemma 2' de verilen (3) ifadesinde

$$M_1 = (\alpha I + S), M_2 = (\alpha I + R), N_1 = (\alpha I - R), N_2 = (\alpha I - S)$$

alınırsa SSS metodunun iterasyon matrisi

$$M(\alpha) = (\alpha I + R)^{-1}(\alpha I - S)(\alpha I + S)^{-1}(\alpha I - R)$$

şeklinde bulunur. Burada $(\alpha I + S)$ ve $(\alpha I + R)$ yani M_1 ve M_2 tersinir kabul edilmiştir. Herhangi A ve B matrisleri için $\rho(AB) = \rho(BA)$ eşitliğinin varlığı bilindiğinden [6]

$$\rho(M(\alpha)) = \rho((\alpha I - S)(\alpha I + S)^{-1}(\alpha I - R)(\alpha I + R)^{-1})$$

yazılır. Ayrıca,

$$\rho(M(\alpha)) \leq \|M(\alpha)\|_2$$

eşitsizliği bilindiğinden,

$$\begin{aligned}\rho(M(\alpha)) &\leq \|(\alpha I - S)(\alpha I + S)^{-1}(\alpha I - R)(\alpha I + R)^{-1}\|_2 \\ &\leq \|(\alpha I - S)(\alpha I + S)^{-1}\|_2 \cdot \|(\alpha I - R)(\alpha I + R)^{-1}\|_2\end{aligned}$$

yazılabilir. Burada

$$Q(\alpha) = (\alpha I - R)(\alpha I + R)^{-1}$$

alınırsa

$$\begin{aligned}Q(\alpha) \cdot Q^T(\alpha) &= (\alpha I - R)(\alpha I + R)^{-1}((\alpha I - R)(\alpha I + R)^{-1})^T \\ &= (\alpha I - R)(\alpha I + R)^{-1}(\alpha I - R)^{-1}(\alpha I + R) \\ &= (\alpha I - R)((\alpha I - R)(\alpha I + R))^{-1}(\alpha I + R) \\ &= (\alpha I - R)(\alpha^2 I - R^2)^{-1}(\alpha I + R) \\ &= (\alpha I - R)(\alpha I - R)^{-1}(\alpha I + R)^{-1}(\alpha I + R) = I\end{aligned}$$

olur. Yani $Q(\alpha)$ 'nın ortogonal matris olduğu görülür. Böylece $\|Q(\alpha)\|_2 = 1$ dir. Buradan,

$$\rho(M(\alpha)) \leq \|(\alpha I - S)(\alpha I + S)^{-1}\|_2 = \sigma(\alpha)$$

olur. α bir pozitif sabit ve $\lambda_i > 0, i = 1, 2, \dots, n$, olduğundan

$$\sigma(\alpha) = \max_{\lambda_i \in \lambda(S)} \left| \frac{\alpha - \lambda_i}{\alpha + \lambda_i} \right|$$

$$\rho(M(\alpha)) \leq \sigma(\alpha) < 1$$

yazılabilir.

Bu teorem SSS iterasyonunun yakınsama hızının yalnızca S kısmının spektrumuna bağlı olduğunu gösterir. R kısmının spektrumuna, A ya, ya da S, R, A matrislerinin özvektörlerine bağlı değildir.

$x \in \mathbb{R}^n$ vektörü için bir vektör norm

$$\| \|x\| \| = \|(\alpha I + R)x\|_2$$

şeklinde ve $X \in \mathbb{R}^{n \times n}$ için bir matris norm $\| \|X\| \| = \|(\alpha I + R)X(\alpha I + R)^{-1}\|_2$ şeklinde verilirse teoremin ispatından,

$$\| \|M(\alpha)\| \| = \|(\alpha I - S)(\alpha I + S)^{-1}(\alpha I - R)(\alpha I + R)^{-1}\|_2 \leq \sigma(\alpha)$$

olduğu görülür. Buradan da

$$\| \|x^{(k+1)} - x^*\| \| \leq \sigma(\alpha) \| \|x^{(k)} - x^*\| \|, k = 0, 1, 2, \dots,$$

elde edilir. Böylece $\sigma(\alpha)$, $\| \|$ normu anlamında SSS iterasyonunun küçülme katsayısının bir üst sınırıdır. S 'nin maksimum ve minimum özdeğerleri biliniyorsa $\sigma(\alpha)$ için en iyi α parametresi $\rho(M(\alpha))$ veya $\| \|M(\alpha)\| \|$ olur. Bu durum aşağıdaki sonuçta verilmiştir.

Sonuç 1. $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$ bir pozitif tanımlı matris, $S = \frac{1}{2}(A + A^T)$ ve $R = \frac{1}{2}(A - A^T)$ sırasıyla onun simetrik ve ters simetrik kısımları ve $\gamma_{min}, \gamma_{max}$ sırasıyla S 'nin en küçük ve en büyük özdeğerleri olsun. Ayrıca α pozitif bir sabit olsun. Bu durumda

$$\alpha^* = \arg \min_{\alpha} \left\{ \max_{\gamma_{min} \leq \lambda \leq \gamma_{max}} \left| \frac{\alpha - \lambda}{\alpha + \lambda} \right| \right\} = \sqrt{\gamma_{min} \cdot \gamma_{max}}$$

ve

$$\sigma(\alpha^*) = \frac{\sqrt{\gamma_{max}} - \sqrt{\gamma_{min}}}{\sqrt{\gamma_{max}} + \sqrt{\gamma_{min}}} = \frac{\sqrt{K(S)} - 1}{\sqrt{K(S)} + 1}$$

olur. Burada $K(S)$, S matrisinin spektral koşul sayısıdır.

İspat. $\sigma(\alpha) = \max_{\lambda_i \in \lambda(S)} \left| \frac{\alpha - \lambda_i}{\alpha + \lambda_i} \right|$ olduğu teoremden biliniyor. Buna göre

$$\sigma(\alpha) = \max \left\{ \left| \frac{\alpha - \gamma_{min}}{\alpha + \gamma_{min}} \right|, \left| \frac{\alpha - \gamma_{max}}{\alpha + \gamma_{max}} \right| \right\}$$

olur. SSS iterasyonunun $\rho(M(\alpha))$ yakınsaklık çarpanını minimum yapacak şekilde bir yaklaşık optimal $\alpha > 0$ değeri hesaplamak için $\rho(M(\alpha))$ yerine $\sigma(\alpha)$ üst sınırı minimize edilir. Eğer α^* böyle bir minimum nokta ise bu durumda $\alpha^* - \gamma_{min} > 0$ ve $\alpha^* - \gamma_{max} < 0$ ve

$$\frac{\alpha^* - \gamma_{min}}{\alpha^* + \gamma_{min}} = \frac{\gamma_{max} - \alpha^*}{\gamma_{max} + \alpha^*}$$

sağlamak zorundadır. Böylece,

$$\alpha^* = \sqrt{\gamma_{min} \gamma_{max}}$$

bulunur. α^* 'in bu değeri $\sigma(\alpha) = \max \left\{ \left| \frac{\alpha - \gamma_{min}}{\alpha + \gamma_{min}} \right|, \left| \frac{\alpha - \gamma_{max}}{\alpha + \gamma_{max}} \right| \right\}$ ifadesinde yerine yazılırsa

$$\sigma(\alpha^*) = \max \left\{ \left| \frac{\alpha^* - \gamma_{min}}{\alpha^* + \gamma_{min}} \right|, \left| \frac{\alpha^* - \gamma_{max}}{\alpha^* + \gamma_{max}} \right| \right\}$$

$$\sigma(\alpha^*) = \max \left\{ \left| \frac{\sqrt{\gamma_{max}} - \sqrt{\gamma_{min}}}{\sqrt{\gamma_{max}} + \sqrt{\gamma_{min}}} \right|, \left| \frac{\sqrt{\gamma_{min}} - \sqrt{\gamma_{max}}}{\sqrt{\gamma_{min}} + \sqrt{\gamma_{max}}} \right| \right\}$$

elde edilir ve ispat tamamlanır. ■

Tüm bu yapılanlara göre artık aşağıdaki sonuç verilebilir.

Teorem 3. $A, B, C, D, E, F, M \in \mathbb{R}^{n \times n}$, bilinen matrisler, $X \in \mathbb{R}^{n \times n}$ bilinmeyenler matrisi olmak üzere,
 $AXB + CXD + EX^T F = M$

genelleştirilmiş Sylvester transpoz matris denklemi

$$\mathcal{A} := B^T \otimes A + D^T \otimes C + (F^T \otimes E)P \quad \text{ve } \mathcal{A} \in \mathbb{R}^{nn \times nn},$$

$$x := \text{vec}(X) \quad \text{ve } x \in \mathbb{R}^{n^2},$$

$$b := (\text{vec}(M)) \quad \text{ve } b \in \mathbb{R}^{n^2}$$

şeklinde düzenleme ile $\mathcal{A}x = b$ biçiminde yazılır. Bu durumda $\alpha^* = \sqrt{\gamma_{\min} \cdot \gamma_{\max}}$, $S = \frac{1}{2}(\mathcal{A} + \mathcal{A}^T)$ ve $R = \frac{1}{2}(\mathcal{A} - \mathcal{A}^T)$ olmak üzere

$$x^{(k+1)} = (\alpha I + R)^{-1}(\alpha I - S)(\alpha I + S)^{-1}(\alpha I - R)x^{(k)} + (\alpha I + R)^{-1}((\alpha I - S)(\alpha I + S)^{-1} + I)b$$

ile bulunan x vektörü gerçek çözüm x^* iken, $vec(x^*) \in \mathbb{R}^{n^2}$ vektörüne yakınsar.

Bu teoreme göre

$$AXB + CXD + EX^T F = M$$

genelleştirilmiş Sylvester transpoz matris denkleminin $X \in \mathbb{R}^{n \times n}$ çözümünü bulan algoritma aşağıdaki gibi yazılabilir.

Algoritma.

Adım 1. n ve d gir. Burada n , matrislerin boyutu ve d , $AXB + CXD + EX^T F - M$ matrisinin normu için istenen üst sınırdır.

Adım 2. $A, B, C, D, E, F, M, X_0 \in \mathbb{R}^{n \times n}$ gir. $k = 0$ olsun.

Adım 3. $P = [E_{ij}]_{n^2 \times n^2}$ matrisini oluştur,

Adım 4. $\mathcal{A} := B^T \otimes A + D^T \otimes C + (F^T \otimes E)P$ matrisini ve $b := vec(M)$ ve $x^{(k)} = vec(X_0)$ vektörlerini oluştur,

Adım 5. \mathcal{A} matrisinin öz değerlerinde negatif veya kompleks eleman varsa 'Adım 1.' e git.

Adım 6. $S = \frac{1}{2}(\mathcal{A} + \mathcal{A}^T)$, $R = \frac{1}{2}(\mathcal{A} - \mathcal{A}^T)$ olarak hesapla,

Adım 7. $\alpha = \sqrt{\gamma_{\min} \cdot \gamma_{\max}}$ olarak hesapla,

Adım 8. $x^{(k+1/2)} = (\alpha I + S)^{-1}(\alpha I - R)x^{(k)} + (\alpha I + S)^{-1}b$ ve

$$x^{(k+1)} = (\alpha I + R)^{-1}(\alpha I - S)x^{(k+1/2)} + (\alpha I + R)^{-1}b \text{ olarak hesapla,}$$

Adım 9. $x^{(k+1)} = vec(X)$ olacak şekilde X matrisini oluştur,

Adım 10. $\|AXB + CXD + EX^T F - M\|_2 < d$ ise dur, değilse 'Adım 8.' e git.

Şimdi bu teoremin etkinliğini gösteren bir örnek verilecektir.

Örnek.

$$A = \begin{pmatrix} 10 & 6 & 5 \\ 6 & 8 & 5 \\ 5 & 5 & 10 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 10 & 5 & 6 \\ 5 & 10 & 5 \\ 6 & 5 & 8 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 10 & 4 & 5 \\ 4 & 4 & 3 \\ 5 & 3 & 6 \end{pmatrix}, D = \begin{pmatrix} 10 & 5 & 2 \\ 5 & 6 & 6 \\ 2 & 6 & 8 \end{pmatrix},$$

$$E = \begin{pmatrix} 0 & 4 & 4 \\ 4 & 0 & 3 \\ 4 & 3 & 4 \end{pmatrix}, F = \begin{pmatrix} 0 & 3 & 5 \\ 3 & 2 & 6 \\ 5 & 6 & 10 \end{pmatrix}, M = \begin{pmatrix} 8 & 1 & 9 \\ 1 & 8 & 5 \\ 9 & 5 & 10 \end{pmatrix}$$

verilen matrisleri ve

$$X_0 = \begin{pmatrix} 10 & 11 & 10 \\ 11 & 6 & 9 \\ 10 & 9 & 12 \end{pmatrix}$$

seçilen matrisi için

$$AXB + CXD + EX^T F = M$$

genelleştirilmiş Sylvester transpoz matris denkleminin $X \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ çözümü SSS metodu ile 28 adımda

$$X = \begin{pmatrix} 0,0707 & -0,1841 & 0,1481 \\ -0,1120 & 0,2456 & -0,1630 \\ 0,0702 & -0,0774 & 0,0658 \end{pmatrix}$$

olarak elde edilir. Burada $\|AXB + CXD + EX^T F - M\| = 0,0854$ olur.

KAYNAKLAR

- [1] Z.Z. Bai, G.H. Golub and M.K. Ng (2003). Hermitian and Skew Hermitian Splitting Methods for Non-Hermitian Positive Definitive Linear Systems, *SIAM J. Appl. Math.* 24(3), 603-626.
- [2] Z.Z. Bai, M. Benzi, F. Chen (2011). On preconditioned MHSS iteration methods for complex symmetric linear systems, *Numer. Algorithms*, 56, 297-317.
- [3] M. Dehghan, A. Shirilord (2019). A generalized modified Hermitian and Skew Hermitian splitting (GMHSS) method for solving complex Sylvester matrix equation, *Appl. Math. Comput.* 348, 632-651.
- [4] M. Hajarian (2018). Biconjugate residual algorithm for solving General Sylvester-transpose matrix equations, *Filomat*, 32:15, 5307-5318.
- [5] J.W. Demmel, *Applied Numerical Linear Algebra* (first edition), Siam, Berkeley (1997).
- [6] R.A. Horn, C.R. Johnson, *Matrix Analysis* (second edition), Cambridge University Press, New York (2012).
- [7] B. Zhou, J. Lam, G.R. Duan (2011). Toward solution of matrix equation $X = Af(X)B + C$, *Linear Algebra Appl.* 435, 1370-1398.

Araştırma Makalesi - Research Article

Yeni bir Sıvı Membran Sistemi (ÇDSM) ile Ağır Metal İyonlarının Ekstraksiyonu

Kadriye ESEN ERDEN^{1*}, Ramazan DONAT²

Geliş / Received: 18/03/2020

Revize / Revised: 02/06/2020

Kabul / Accepted: 03/06/2020

ÖZ

Bu çalışmada, yeni tasarlanmış bir sıvı membran sistemi kullanılarak, Zn^{2+} , Cd^{2+} , Mo^{6+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} ve Fe^{3+} iyonlarının taşınması ve taşınımı etkileyen faktörler incelenmiştir. Çalışmada, literatürde mevcut diğer sıvı membran tekniklerinden farklı yeni bir yöntem uygulanmıştır. Bu yöntem, donör ve akseptör fazdan ligand taşıyıcısı içeren organik fazın damlacıklar halinde geçirilmesiyle küçük bir farklılık göstermekle beraber, hacimli sıvı membran sistemi ile benzerdir. Sistem “Çok Damlalı Sıvı Membran Sistemi” (ÇDSM) olarak adlandırılmıştır. Bu tekniğin avantajları arasında basit yapı, hareketli parça azlığı, hafif ve taşınabilir olması, esnek çalışma, yüksek membran kapasitesi ve yüksek ayırma faktörü sayılabilir. Bu yeni yöntem ile çalışma süresi, kontaminasyon riski, kullanılan reaktif miktarları ve üretilen atık miktarlarının azaltılması amaçlanmaktadır. Sistem Zn^{2+} , Cd^{2+} , Mo^{6+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} ve Fe^{3+} iyonlarının sulu çözeltilerden taşınması için uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Her bir metal iyonu için uygun donör, taşıyıcı ve akseptör çözeltiler ile optimum taşınım koşulları (donör ve akseptör faz derişimleri ile pH'ları, organik faz derişimi, sıcaklık, akış hızı) belirlenmiştir. Ard arda tersinmez I. mertebe reaksiyon varsayımıyla k_1 , k_2 , C_B^{mak} , t_B^{mak} kinetik parametreleri, fazlar arası kütle aktarımı kanunları ile J_d^{mak} , J_a^{mak} değerleri ve aktivasyon enerjisi (E_a) değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, mevcut deneysel çalışmalarda kullanılan ÇDSM sisteminin, ağır metal endüstrilerinin neden olduğu ağır metal iyonlarını gidermek için mükemmel bir alternatif ve ekonomik süreç olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler- Sıvı membran, Ekstraksiyon, Ağır metaller, Taşınım, ÇDSM

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: kadriye.erden@kocaeli.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-6108-9489>)

Elektrik ve Enerji Bölümü, Kocaeli Üniversitesi Uzunçiftlik Nuh Çimento Meslek Yüksekokulu, Kocaeli, Türkiye

²İletişim: rdonat@pau.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-5701-5030>)

Kimya Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Denizli, Türkiye

Extraction of Heavy Metal Ions through a Novel Liquid Membrane System (MDLM)

ABSTRACT

In this study, the transport and factors affecting the transport of Zn^{2+} , Cd^{2+} , Mo^{6+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} and Fe^{3+} ions using a newly designed liquid membrane system were investigated. In the study, a new method, different from other liquid membrane techniques available in the literature, has been applied. This method is similar to the bulk liquid membrane system, as it differs slightly by passing the organic phase containing the ligand carrier from the donor and acceptor phase into droplets. It is called as "Multi Dropped Liquid Membrane System" (MDLM). The advantages of this technique include simple structure, lack of moving parts, light and portable, flexible operation, high membrane capacity and high separation factor. With this new method, it is aimed to reduce the working time, the risk of contamination, the amount of reagents used and the amount of waste produced. The system has been applied for transport of Zn^{2+} , Cd^{2+} , Mo^{6+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} and Fe^{3+} ions from aqueous solutions and successful results have been obtained. Optimum transport conditions (donor and acceptor phase concentrations and pH, organic phase concentration, temperature, flow rate) were determined with suitable donor, carrier and acceptor solutions for each metal ion. The kinetic parameters k_1 , k_2 , C_b^{max} , t_B^{max} and activation energy (E_a) were calculated for the interface reactions assuming two consecutive, irreversible first-order reactions, J_d^{max} , J_a^{max} were calculated with interphase mass transfer laws. The results suggest that the MDLM system that used in the current experimental studies can be a great alternative and economical process in order to remove the heavy metal ions caused by heavy metal industries.

Keywords- *Liquid membrane, Extraction, Heavy metals, Transport, MDLM*

I. GİRİŞ

Ağır metallerin birçok olumsuz sağlık etkisi uzun süredir bilinmesine rağmen, insanlar tarafından binlerce yıldır kullanılmaktadır. Ağır metallerden insan sağlığına yönelik ana tehditleri kurşun, kadmiyum, cıva ve arsenik maruziyetiyle ilişkilidir. Bu ağır metaller kapsamlı bir şekilde yıllardır incelenmekte ve insan sağlığı üzerindeki etkileri Dünya Sağlık Örgütü gibi uluslararası kuruluşlar tarafından düzenli olarak gözden geçirilmektedir [1].

Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{6+} , Hg^{2+} , Cu^{2+} vb. gibi ağır metal iyonları, metal kaplama, seramik, kâğıt hamuru, kurşun ileticiler, elektrokaplama, madencilik ve pil imalat endüstrilerinden çevreye deşarj edilmektedir [2]. Bu ağır metal iyonlarının neden olduğu su kirliliği, insanlar için gıda zinciri yoluyla insan vücuduna nüfuz edebildikleri için ve böylece kansere, merkezi sinir sistemi hasarına, akciğer hasarına, beynin hasar görmesine ve nihayetinde ölüme yol açabilir [3]. Bu nedenle, zehirli ağır metal kirleticilerinin sulu atık akışlarından uzaklaştırılması halen araştırılmakta olan önemli çevresel sorunlardan biridir.

Yıllardır ağır metal iyonlarını gidermek için; kimyasal çöktürme, iyon değişimi, adsorpsiyon, flotasyon, ekstraksiyon, elektrokimyasal metotlar ve membran ayırma gibi birçok teknoloji araştırılmıştır ve kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu ayırma yöntemlerinden bazıları verim düşüklüğü, yüksek maliyet, hassas çalışma koşulları ve ikincil çamur üretimi gibi bazı dezavantajlara sahip olduklarından çok popüler değildir [4]. Çözücü ekstraksiyonu işlemi, saflaştırma, metal iyonlarının sulu çözeltilerden geri kazanılması ve ayrılmasında yaygın olarak kullanılan ayırma tekniklerinden biridir. Çözücü ekstraksiyonu diğer ayırma teknikleriyle kıyaslandığında; uzun zaman gerektirmesi ve büyük miktarda organik çözücü kullanması dezavantajını taşımaktadır. Çok miktarda çözücünün zararsız hale getirilmesi yüksek maliyet dezavantajı yanında, aynı zamanda çevresel de bir problemdir [5]. Bu nedenle günümüzde popüler bir bilim haline gelen membran teknolojisinin alternatif metodlarından biri olan sıvı membran tekniği ilgi görmektedir. Sıvı membran prosesi, tek bir adımda ekstraksiyon ve ekstrakte edilen metal iyonlarının sökülmesi proseslerinden meydana geldiği için, çözücü ihtiyacını azaltmakta ve daha ekonomik olarak gerçekleşmektedir. Bu sebepten sıvı membran prosesleri dünyadaki birçok araştırmacının ilgisini çekmekte ve çeşitli metal iyonlarının ayrılması için oldukça fazla çalışma yapılmaktadır.

Sıvı membran teknolojisi, sulu donör çözeltilisinden metal iyonunun taşıyıcı molekülleri (membran) içeren organik faza tek aşamalı ekstraksiyonu ve bu metal iyonunun membran fazdan sulu akseptör faza tekrar ekstraksiyonu olmak üzere iki aşamadan oluşur. Sıvı membran proseslerin potansiyel avantajları arasında; yüksek ayırma faktörleri katı membranlara göre daha yüksek kütle alanları, çok yüksek seçicilik, düşük konsantrasyondan yüksek konsantrasyona ayırma ve zenginleştirme, pahalı ekstrakte edicilerin kullanılabilmesi, yüksek besleme/çözücü hacim oranları, askıda katı madde içeren çözeltilerin işlenebilmesi, ölçeklendirme kolaylığı, düşük yatırım ve işletme maliyeti sayılabilir [6]. Sıvı membranlar çeşitlerine göre yüzey aktif, organik çözücü ve taşıyıcı (ekstrakte edici) maddelerin her üçünü içerebildikleri gibi bunların farklı kombinasyonlarına da sahip olabilmektedirler.

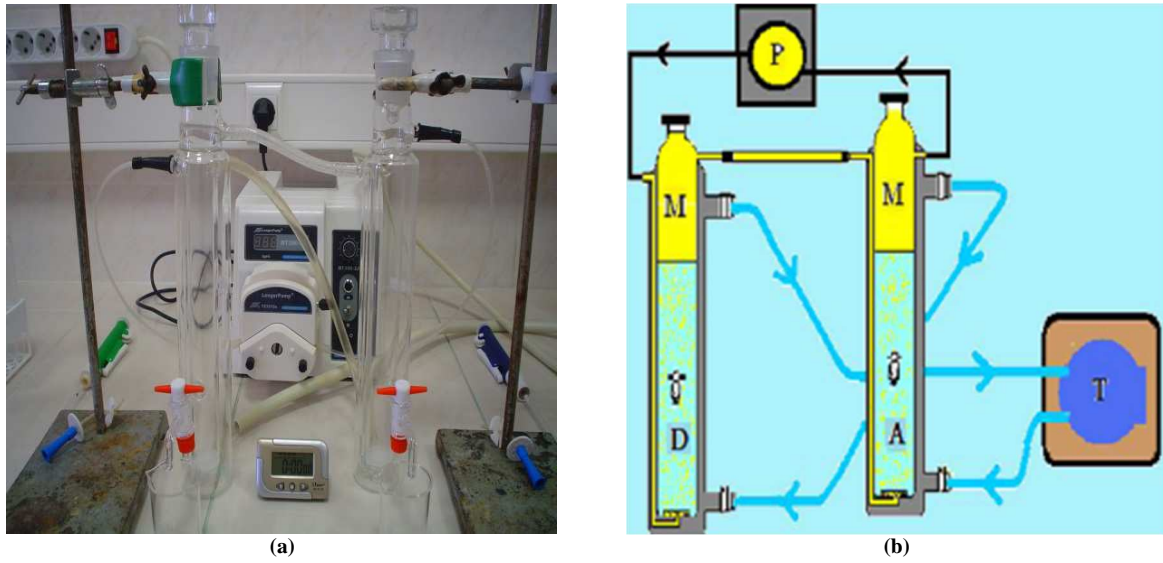
Bu çalışmada, literatürde mevcut olan sıvı membran tekniklerinden farklı, yeni bir sıvı membran tekniği ile, Zn^{2+} , Cd^{2+} , Mo^{6+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} ve Fe^{3+} iyonlarının taşınması, geri alım verimleri, hesaplanan kinetik parametreleri yanında diğer sıvı membranlarla yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

II. MALZEME VE YÖNTEM

Deneylerde kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıktadır. Bu çalışmada kullanılan sıvı membran sisteminin bir fotoğrafı ve şeması Şekil 1'de gösterilmektedir. Sistem tamamıyla Pamukkale Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü öğretim üyeleri Prof. Dr. Halil Çetişli ve Dr. Öğr. Üyesi Ramazan Donat tarafından tasarlanmıştır. Sistem genel hatlarıyla iki reaktörden oluşur. İlk reaktörün alt kısmında metal iyonları ve üstte uygun çözücü organik faz içinde organik ligandların yer aldığı diğer reaktörde ise alt kısmında sıyırma fazı ve üstte yine organik faz içinde organik ligandlar yer almaktadır. Programlanan sabit sıcaklıkta çalışabilmek için sirkülasyonlu kreostat cihazından alınan akışkan tüm reaktör sisteminin dış ceketinden dolaştırılmaktadır. Sabit taşınım hızı sağlamak için de sistem peristaltik pompaya bağlanmıştır. Mekanik karıştırıcının bertaraf edilmesi ve damlacıkların daha homojen dağılmasını sağlamak amacıyla reaktörlerin tabanında poröz cam

kullanılması uygun görülerek sistem geliştirilmiştir. Organik faz, peristaltik pompa yardımı ile her iki reaktörün altındaki gözenekler yoluyla çoklu damlacıklar halinde tüm sistemi dolaşmaktadır. Organik faz; donör ve akseptör fazlardan kabarcıklar halinde geçer ve ilgili fazlarda yukarıya doğru hareket ederek taşıyıcı reaktif-metal iyonu teması sağlamıştır.

Örnekler, reaktörlerdeki musluklar yardımıyla ilk (donör faz) ve ikinci reaktörlerden (akseptör faz) beş dakika arayla alınmış ve her bir metal iyonu tayini için uygun yöntemler kullanılarak UV-Vis spektrofotometre ile analiz edilmiştir. İzah edildiği gibi gerçekleştirilen ekstraksiyon sistemi Çok Damlacıklı Sıvı Membran (ÇDSM) Sistemi olarak tanımlanmıştır.

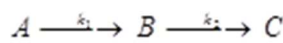


Şekil 1. Çok Damlacıklı Sıvı Membran Ekstraksiyon Sistemi'nin a) Fotoğrafı b) Şeması (M: Organik faz, D: Donör faz, A: Akseptör faz, P: Peristaltik pompa, T: Termostat)

DeneySEL çalışmalar ÇDSM sisteminde gerçekleştirilmiş, taşıyıcı ligand seçimi için literatürde sıkça karşılaşılan taşıyıcı ligand türleri öncelikli olarak kullanılmıştır. ÇDSM sisteminde Zn^{2+} , Cd^{2+} , Mo^{6+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} iyonlarının ekstraksiyonu için uygun donör, akseptör fazlar ve her bir metal iyonu taşınımı için uygun organik ligand ve çözücüsünden oluşan ekstraktör fazlar belirlenmiştir. Her bir metal iyonu için optimum taşınım koşulları; donör ve akseptör faz derişimleri ile pH'ları, taşıyıcı faz derişimi, sıcaklık ve membran akış hızının etkileri araştırılmıştır. ÇDSM sistemi ile çalışmalara başlandıktan sonra belirli sürelerle hem donör fazdan hem de akseptör fazdan örnekler alınarak fazlardaki metal iyonu derişimleri UV-Vis spektrofotometresi kullanılarak kolorimetrik olarak tayin edilmiştir. Mo^{6+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} iyonlarına ait yarışmalı ekstraksiyon deneylerinde fazlardaki metal iyonu derişimleri ICP-OES kullanılarak belirlenmiştir.

A. Kinetik Hesaplamalar

Ekstraksiyon kinetiği grafiklerine göre fazlardaki reaktif derişimlerinin zamanla değişimi ard arda gerçekleşen 1. mertebe tepkime modeline benzemektedir. Bu model mevcut deneysel çalışmalara uyarlandığında,



A donör, B organik ve C de akseptör fazdaki reaktif derişimini simgelemektedir. k_1 ve k_2 reaksiyon hız sabitleridir.

Ekstraksiyon ve sıyırma işlemleri, ardışık birinciden reaksiyon kinetiklerine uyduğundan reaksiyon hızı sabitleri, farklı sıcaklıklarda farklı değerler almaktadır. Bu nedenle, donör fazda belirlenen reaktif derişimleri kullanılarak zamana karşı $\ln(C_o/C_e)$ değişim grafikleri oluşturulmuş ve kinetik veriler elde edilmiştir. C_o metalin başlangıç konsantrasyonunu C_e ise herhangi bir t anındaki konsantrasyonunu sembolize etmektedir. Bu grafiğin eğimi k_1 reaksiyon hız sabitini vermektedir. Arabirim reaksiyonları için kinetik parametreler k_1 , k_2 , C_B^{mak} , t_B^{mak} , J_d^{mak} , J_a^{mak} ve aktivasyon enerjisi (E_a) iki ardışık, tersinmez birinciden reaksiyon varsayımıyla hesaplanmıştır. t_{max} B'nin maksimum derişime ulaştığı süre ve C_B^{mak} , da B'nin ulaştığı maksimum derişimi sembolize etmektedir. k_2 , t_B^{mak} ve C_B^{mak} değerleri 1,2 ve 3 formülleri yardımı ile hesaplanmıştır. [7,8].

$$t_B^{mak} = \frac{\ln(k_1/k_2)}{k_1 - k_2} \quad (1)$$

$$C_B^{mak} = C_o \left(\frac{k_2}{k_1}\right)^{\frac{k_2}{k_1 - k_2}} \quad (2)$$

$$k_2 = \frac{-\ln\left(\frac{C_B^{mak}}{C_o}\right)}{t_B^{mak}} \quad (3)$$

Ayrıca her bir deney için, k_1 ve k_2 reaksiyon hız sabitlerine bağlı olarak sırasıyla, membran giriş (J_d^{mak}) ve membrandan çıkış (J_a^{mak}) hızları 4,5 ve 6 formülleri yardımıyla hesaplanmıştır [7].

$$J_d^{mak} = \frac{dR_d}{dt} \quad (4)$$

$$J_d^{mak} = \left.\frac{dR_d}{dt}\right|_{mak} = -k_1 \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^{-k_1/(k_1 - k_2)} \quad (5)$$

$$J_a^{mak} = \left.\frac{dR_a}{dt}\right|_{mak} = k_2 \left(\frac{k_1}{k_2}\right)^{-k_2/(k_1 - k_2)} \quad (6)$$

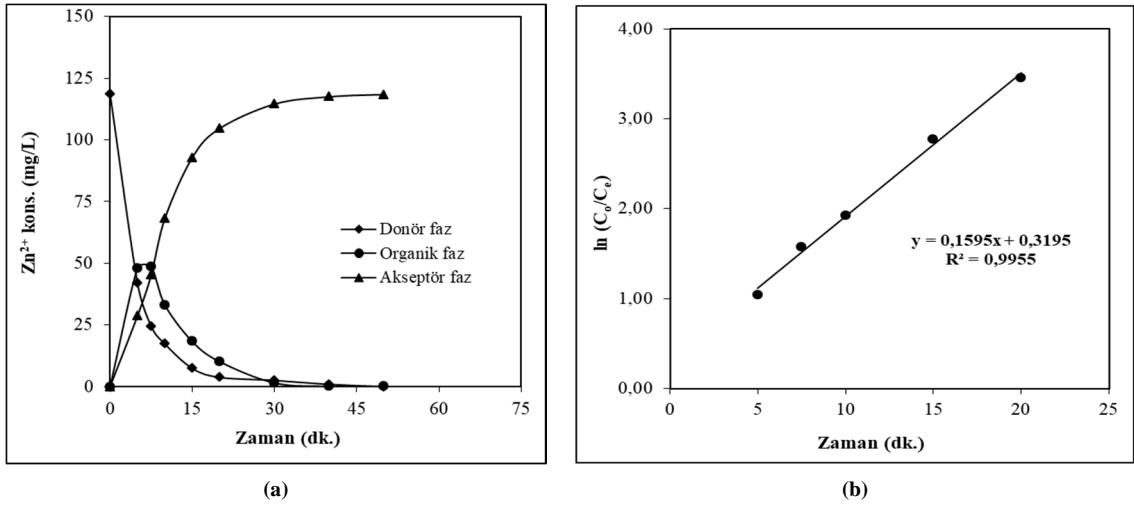
Aktivasyon enerjisi (E_a) değerleri, maksimum membran çıkış hızlarına karşılık $1/T$ değerlerinin farklı sıcaklık aralıkları için grafiğe geçirilmesiyle elde edilen k_1 ve k_2 değerleri kullanılarak Arrhenius denklemi (7) yardımıyla elde edilmiştir [9].

$$\ln(J) = \ln(A) - \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T}\right) \quad (7)$$

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

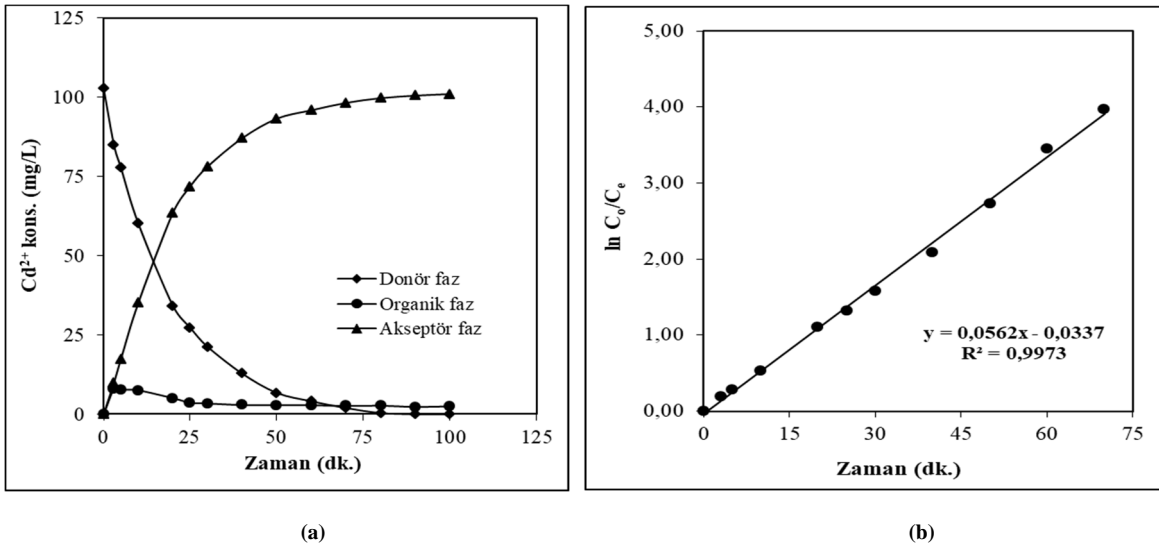
ÇDSM sisteminde Zn^{2+} , Cd^{2+} , Mo^{6+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} iyonlarının ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Bunun için ilk olarak uygun donör, akseptör fazlar ve her bir metal iyonu taşınımı için uygun organik ligand ve çözücüsünden oluşan ekstraktör fazlar belirlenmiştir. Bu fazların derişimleri, pH'ları, deney sıcaklığı ve membran akış hızının etkileri her bir metal iyonu için ayrı ayrı araştırılmıştır.

Çinko metali ile yapılan çalışmalarda; belirlenen optimum donör faz derişimi 100 mg/L, pH'ı 5, en yüksek sıyırmanın gerçekleştirildiği akseptör faz derişimi de 0.25mol/L HCl çözeltisi olarak belirlenmiştir. Membran faz olarak kerozen içerisinde çözülmüş 8×10^{-3} mol/L di-(2-etil hegzil) fosforik asit (D2EHFA) ligandı en verimli (%99.20) sonucu göstermiş olup optimum sıcaklık 308.15K ve membran akış hızı 62mL/dak olarak deneyler gerçekleştirilmiştir. D2EHFA taşıyıcı için Zn^{2+} iyonunun taşınımı için aktivasyon enerjisi (E_a) değeri 5.30kcal/mol olarak hesaplanmış olup; bulunan aktivasyon enerjisi değeri 10 kcal/mol'den küçük olmasından dolayı difüzyon kontrollü olduğunu göstermektedir. Deney sonuçlarına göre ÇDSM sisteminde D2EHFA taşıyıcısı kullanılarak Zn^{2+} iyonlarının %99 verimle taşınması mümkün olduğu söylenebilir [10]. Çinko metali ile yapılan çalışmalarda birçok deneme sonucunda belirlenen optimum parametrelerde gerçekleştirilen deneye ait fazlardaki çinko derişiminin zamanla değişim grafiği ve ekstraksiyon kinetiği grafiği Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. (a) Donör, akseptör ve organik fazlardaki Çinko iyonları derişiminin zamanla değişim grafiği, (b) Çinko için ekstraksiyon kinetiği grafiği

Çok damlacıklı sıvı membran sisteminde Cd²⁺ iyonlarının ekstraksiyonu; kerozen içinde çözülmüş taşıyıcı tri-n-oktil amin (TNOA) ve akseptör faz olarak amonyum asetat içeren çözelti ile incelenmiştir. Kadmiyum metali ile yapılan çalışmalarda en uygun organik faz derişimi 7x10⁻³mol/L'lik tri-n-oktil amin ve akseptör faz derişimi de 0.5mol/L olarak belirlenmiştir. 288.15K'de yürütülen deney sonuçlarına göre %98 verim ile Cd²⁺ iyonları transferi gerçekleştirilmiştir [11]. Fazlardaki Cd²⁺ iyonlarının zamanla değişim grafiği ve ekstraksiyon kinetiği grafikleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. (a) Donör, akseptör ve organik fazlardaki Kadmiyum iyonları derişiminin zamanla değişim grafiği, (b) Kadmiyum için ekstraksiyon kinetiği grafiği

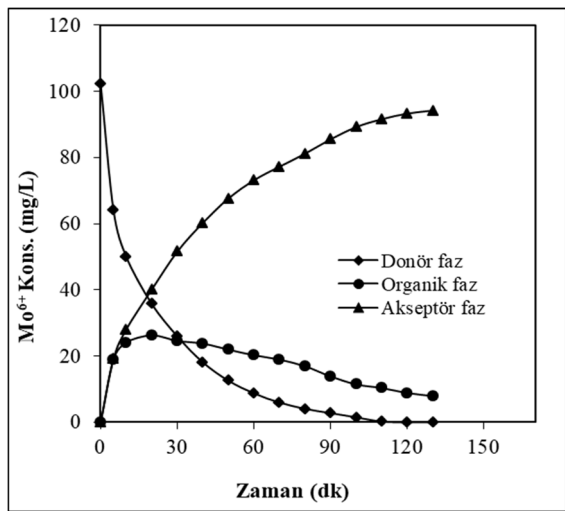
Donör, akseptör ve organik fazdaki Cd²⁺ iyonlarının zamanla azalan konsantrasyon eğrileri elde edilen deneysel verilerle iyi bir uyum göstermiş olup Cd²⁺ iyonlarının ekstraksiyon mekanizmasına ait aktivasyon

enerjisi, 17.07 kcal/mol olarak hesaplanmıştır. Bu değer ÇDSM sistemi ile Cd^{2+} iyonlarının ekstraksiyonunun kimyasal kontrollü olduğunu göstermiştir. Deneysel sonuçlara göre çok damlacıklı sıvı membran sistemine dayanan bir ekstraksiyon ile sulu çözeltilerden Cd^{2+} iyonlarının uzaklaştırılmasının %98 verimle mümkün olduğunu göstermektedir [11].

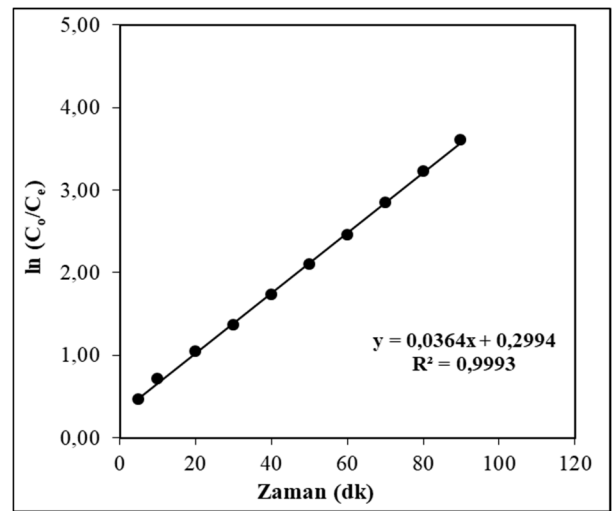
Molibden metali ile yapılan çalışmalarda taşıyıcı faz olarak kerosen içerisinde çözülmüş 5×10^{-3} mol/L'lik TNOA en yüksek taşınımı sağlamış olup akseptör fazda 1.00 mol/L Na_2CO_3 çözeltisi kullanılmıştır. Akseptör fazda kullanılan sodyum karbonat derişimi arttıkça, akseptör faza geçen Mo^{6+} iyonlarının derişimi de artmış olup, yüksek sodyum karbonat derişimlerinde, ekstraksiyon çok hızlı gerçekleşmiştir. Ekstraksiyon için en uygun sodyum karbonat derişimi 1.00 mol/L olarak belirlenmiştir 298.15K sıcaklıkta 50mL/dak membran akış hızında belirlenen derişim ve pH'lardaki fazlar ile çalışıldığında %98.6'lık bir transfer yüzdesi ile Molibden iyonları taşınımı gerçekleştirilmiştir. Fazlardaki Mo^{6+} iyonunun zamanla değişim grafiği ve ekstraksiyon kinetiği grafikleri Şekil 4'te verilmiştir. TNOA taşıyıcı için Mo^{6+} iyonunun taşınımı için 6.09 kcal/mol olarak hesaplanan aktivasyon enerjisi değeri, 10 kcal/mol'den küçük olmasından dolayı olayın difüzyon kontrollü olduğunu göstermektedir [12].

Optimum koşullarda donör fazda Mo^{6+} iyonları yanında K^+ , Ca^{2+} ve Ba^{2+} iyonlarının bulunması halinde gerçekleştirilen yarışmalı ekstraksiyon deneylerinde; Mo^{6+} iyonlarının donör fazdan akseptör faza transportunda ekstraksiyon verimleri artmış, ekstraksiyon süresi uzamış, hız sabiti düşmüş ve akış hızı azalmıştır. Gerçekleştirilen deney sonucunda alev fotometresi ile yapılan ölçümlere göre akseptör fazda potasyum iyonlarına rastlanmamış, kalsiyum ve baryumun ise sırasıyla %8.32 ve %15.00 oranında akseptör faza geçtiği belirlenmiştir. Yine optimum koşullarda donör fazda Mo^{6+} çözeltisi yanında Cu^{2+} , Fe^{3+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} ve Co^{2+} iyonlarının bulunması halinde gerçekleştirilen yarışmalı ekstraksiyon deneylerinde, Mo^{6+} iyonlarının ekstraksiyon verimi artmış, ekstraksiyon süresi uzamış, hız sabiti değerlerinde değişim gözlenirken, akış hızı azalmıştır. Deneyler sonunda ICP-OES ile yapılan ölçümler sonucunda akseptör fazda Cu^{2+} , Fe^{3+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} ve Co^{2+} iyonlarından hiçbirine rastlanmamış olup bu çalışma Mo^{6+} iyonlarının ekstraksiyonu için yüksek seçicilik gösteren bir çalışma olmuştur [13].

Elde edilen sonuçlar, Mo^{6+} iyonlarının ekstraksiyonunun, ÇDSM sistemi kullanılarak yüksek verimle gerçekleştirilebileceğini göstermektedir.



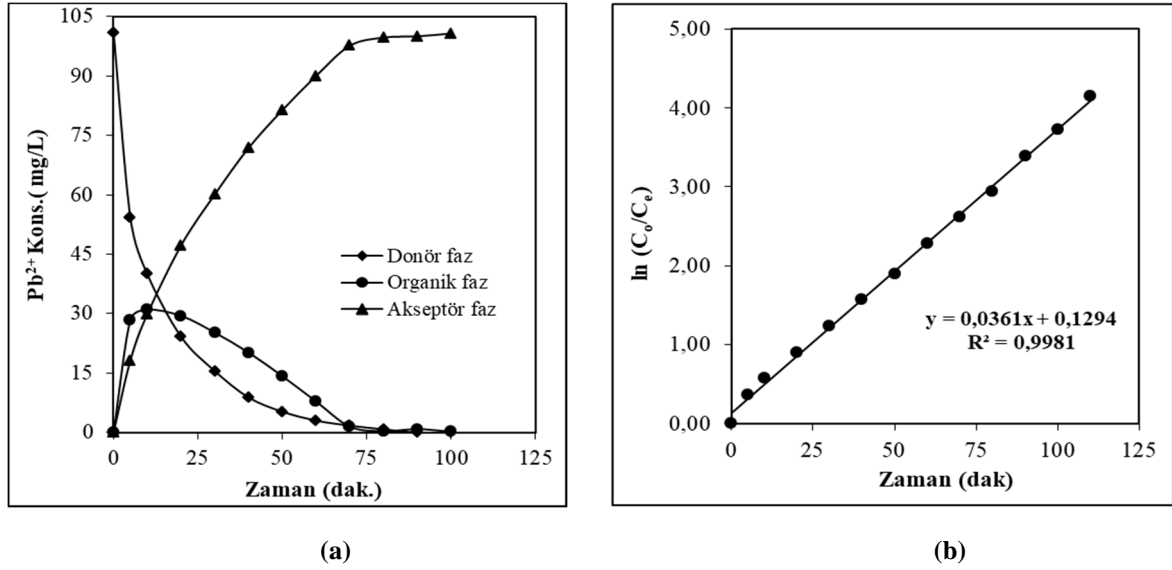
(a)



(b)

Şekil 4. (a) Donör, akseptör ve organik fazlardaki Molibden iyonları derişiminin zamanla değişim grafiği, (b) Molibden için ekstraksiyon kinetiği grafiği

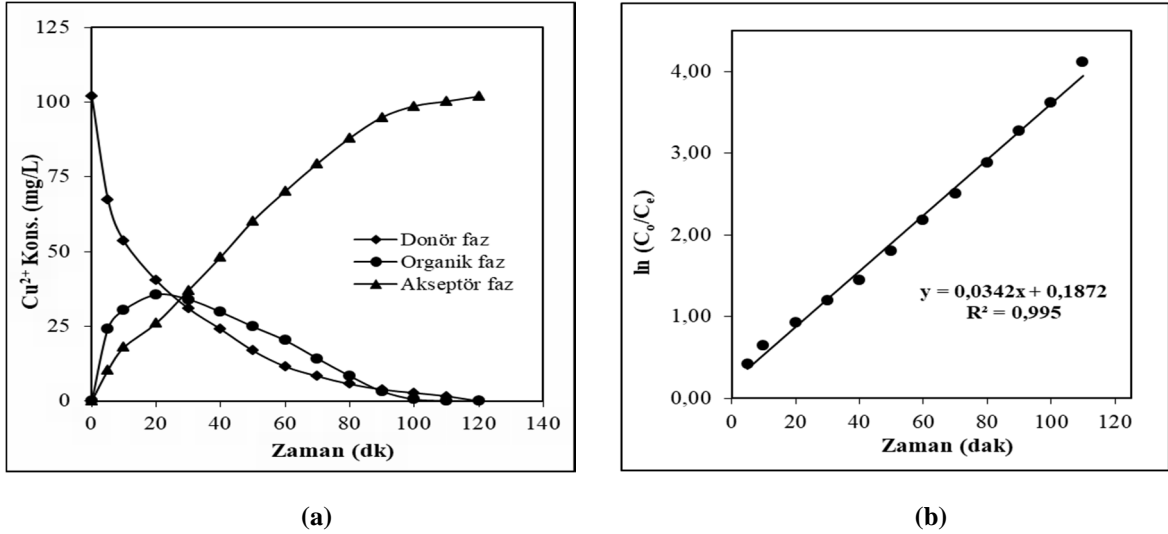
ÇDSM sisteminde Pb^{2+} iyonlarının ekstraksiyonu için yapılan deneysel çalışmalarda taşıyıcı faz olarak kerozen içinde 1.50×10^{-3} mol/L D2EHPA ligandı en verimli sonuçları göstermiştir. Akseptör fazda 0.3mol/L'lik HNO_3 çözeltisi kullanılarak 298.15K'de %98.77'lik bir ekstraksiyon verimi ile Pb^{2+} iyonları donör fazdan akseptör faza taşınmıştır. Aktivasyon enerjisi (E_a) değerleri 7.41 kcal/mol olarak bulunmuş olup buradan Pb^{2+} iyonlarının taşınımının da difüzyon kontrollü olarak gerçekleştiği anlaşılmaktadır [14]. Fazlardaki kurşun metalinin zamanla değişim grafiği ve ekstraksiyon kinetiği grafikleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. (a) Donör, akseptör ve organik fazlardaki Kurşun iyonları derişiminin zamanla değişim grafiği, (b) Kurşun için ekstraksiyon kinetiği grafiği

Optimum koşullarda donör fazda Pb^{2+} iyonları yanında belli derişimlerde Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ve Ba^{2+} iyonlarının bulunması halinde gerçekleştirilen yarışmalı ekstraksiyon deneylerinde; Pb^{2+} iyonlarının ekstraksiyon veriminin çok değişmediği gözlenmiştir. Bunun yanı sıra ekstraksiyon süresi uzamış, hız sabiti ve akış hızı değerleri düşmüştür. Yine optimum koşullarda donör fazda Pb^{2+} çözeltisi yanında Mo^{6+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} ve Zn^{2+} iyonlarının bulunması halinde gerçekleştirilen yarışmalı ekstraksiyon deneylerinde de ortamda ağır metal iyonları varlığında seçimli ekstraksiyon çalışmalarında da Pb^{2+} iyonlarının ekstraksiyon veriminin çok değişmediği gözlenmiştir. Seçimli ekstraksiyon çalışmalarında ICP-OES ile yapılan ölçümler; akseptör fazda Pb^{2+} iyonlarıyla beraber donör fazdaki Mo^{6+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} ve Cu^{2+} iyonlarının sırasıyla %1.80, %0.60, %5.60 ve %4.40 oranında akseptör faza taşındığını göstermiştir. İki değerlikli ağır metal iyonlarının diğer üç ve altı değerlikli metal iyonlarından daha fazla oranda akseptör faza taşındığı görülmektedir. Optimum şartlarda $Pb(II)$ iyonlarının seçimli ekstraksiyon işlemlerinde ağır metal iyonlarının varlığında başarılı bir ekstraksiyonu gerçekleştirilmiş ve Pb^{2+} iyonlarının ekstraksiyonunda elde edilen geri alım verimlerinde azalmanın olmadığı tespit edilmiştir [13].

Bakır metali ile yapılan çalışmalarda; donör fazda pH değeri 9.00 olan bakır çözeltisinden organik fazda 5×10^{-3} mol/L'lik TNOA kullanılmak suretiyle 1mol/L'lik H_2SO_4 çözeltisine ekstraksiyon çalışmaları 298.15K'de %99.92 maksimum verimle gerçekleştirilmiştir. Aktivasyon enerjisi (E_a) değeri 5.22 kcal/mol olarak hesaplanmış olup, Cu^{2+} iyonlarının taşınımının difüzyon kontrollü olarak gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Fazlardaki Cu^{2+} iyonunun zamanla değişim grafiği ve ekstraksiyon kinetiği grafikleri Şekil 6'da verilmiştir [15].

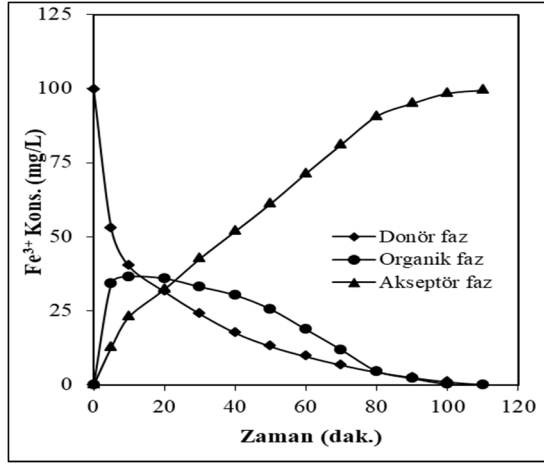


Şekil 6. (a) Donör, akseptör ve organik fazlardaki Bakır iyonları derişiminin zamanla değişim grafiği, (b) Bakır için ekstraksiyon kinetiği grafiği

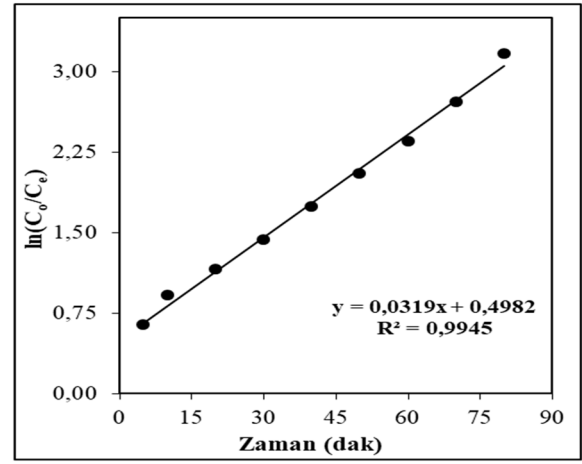
Donör fazda Cu^{2+} iyonları yanında Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ve Ba^{2+} iyonlarının bulunması halinde geręekleřtirilen yarışmalı ekstraksiyon deneylerinde; Cu^{2+} iyonlarının transportunda ekstraksiyon veriminin çok değişmediği, ekstraksiyon süresinin uzadığı, hız sabiti ve akış hızının azaldığı gözlenmiştir. Seçimli ekstraksiyon çalışmalarında alev fotometresi ile yapılan ölçümler sonucunda akseptör fazda Na^+ , K^+ , Ba^{2+} iyonlarına rastlanmamış olup sadece; Ca^{2+} iyonu ise yaklaşık %12.00 oranında akseptöre geçiş yapmıştır. Diğer ağır metallerin (Fe^{3+} , Zn^{2+} , Mo^{6+}) varlığında Cu^{2+} ekstraksiyonunu incelemek amacıyla optimum koşullarda geręekleřtirilen deneyler neticesinde Cu^{2+} iyonlarının ekstraksiyon verimi değerlerinin aynen kurşun ve molibden iyonlarında olduğu gibi çok değişmediği, ekstraksiyon süresinin uzadığı, hız sabit değerlerinin değiştiği ve akış hızının azaldığı belirlenmiştir. Seçimli ekstraksiyon çalışmalarında ICP-OES ile yapılan ölçümler sonucunda akseptör fazda Cu^{2+} iyonlarıyla beraber donör fazdaki Mo^{6+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} iyonlarının sırasıyla %2.20, %0.80 ve %3.60 oranında akseptör faza taşınmıştır [15].

Demir metalinin ÇDSM sistemi kullanılarak ekstraksiyonu çalışmalarında organik fazda 3.75×10^{-3} mol/L TOPO ve akseptör fazda 2 mol/L NaCl 298.15K sabit sıcaklıkta %99 verimle taşınması sağlanmıştır. Fe^{3+} iyonlarının ekstraksiyon mekanizmasına ait aktivasyon enerjisi 25.79 kcal/mol olarak hesaplanmış olup; bu değer çok damlacıklı membran sistemi ile Fe^{3+} iyonlarının ekstraksiyonunun kimyasal kontrollü olduğunu göstermiştir [16]. F azlardaki Fe^{3+} iyonları derişiminin zamanla değişim grafiği ve ekstraksiyon kinetiği grafikleri Şekil 7’te verilmiştir.

Donör fazda Fe^{3+} iyonları yanında K^+ , Ca^{2+} ve Ba^{2+} iyonlarının bulunması halinde geręekleřtirilen yarışmalı ekstraksiyon deneylerinde; Fe^{3+} iyonlarının transportunda ekstraksiyon verimin çok değişmediği, ekstraksiyon süresinin uzadığı, hız sabiti ve akış hızının azaldığı gözlenmiştir. Seçimli ekstraksiyon çalışmalarında alev fotometresi ile yapılan ölçümler sonucunda akseptör fazda Na^+ iyonlarına rastlanmamış olup; Ca^{2+} ve Ba^{2+} iyonları ise sırasıyla yaklaşık %13.10 ve %5.00 oranında akseptöre geçiş yapmıştır. Diğer ağır metallerin (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mo^{6+} , Pb^{2+} ve Co^{2+}) varlığında Fe^{3+} ile yarışmalı ekstraksiyonu incelendiğinde Fe^{3+} iyonlarının ekstraksiyon verimlerinin çok değişmediği, ekstraksiyon süresinin uzadığı, hız sabit değerlerinin değiştiği ve akış hızının azaldığı belirlenmiştir. Bu deneyler sonucunda akseptör fazda Fe^{3+} iyonlarıyla beraber donör fazdaki Cu^{2+} , Mo^{6+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} ve Co^{2+} iyonlarının akseptör faza geçişleri sırasıyla %12.04, %1.20, %14.62, %16.28 ve %10.32 oranlarında geręekleşmiştir [13].



(a)



(b)

Şekil 7. (a) Donör, akseptör ve organik fazlardaki Demir iyonları derişiminin zamanla değişim grafiği, (b) Demir için ekstraksiyon kinetiği grafiği

Optimum taşınım koşulları belirlendikten sonra ve her bir metal iyonu taşınımına ait kinetik veriler hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar toplu halde Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çok Damlacıklı Sıvı Membran Sistemi ile ekstraksiyonu incelenen tüm iyonlar için optimum koşullar ve kinetik parametreler

	Zn ²⁺	Cd ²⁺	Mo ⁶⁺	Pb ²⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺
Donör Faz Derişimi (mg/L) ve pH’sı	120 pH:5	100 pH:2.5	100 pH:2	100 pH:7	100 pH:9	100 pH:1
Akseptör Faz Türü ve Derişimi, (mg/L)	HCl (0.25)	CH ₃ COONH ₄ (0.50)	Na ₂ CO ₃ (1.00)	HNO ₃ (0.30)	H ₂ SO ₄ (1.00)	NaCl (2.00)
Taşıyıcı Ligand Türü ve Derişimi, (mg/L)	D2EHPA (8.0x10 ⁻³)	TNOA (7.0x10 ⁻³)	TNOA (5.0x10 ⁻³)	D2EHPA (1.50x10 ⁻²)	TNOA (5.0x10 ⁻³)	TOPO (1.5x10 ⁻²)
Transfer Yüzdesi, (%)	99.20	98.01	98.96	98.77	99.92	99.95
Sıcaklık, (K)	308.15	298.15	298.15	298.15	298.15	298.15
Transfer hızı, (mL/dak)	62	125	50	50	50	140
k ₁ 10 ² (dak ⁻¹)	8.84	5.62	3.64	3.62	3.42	3.19
k ₂ 10 ² (dak ⁻¹)	16.33	74.25	6.19	5.22	3.66	12.51
C _B ^{mak} (mg/L)	31.48	6.13	28.86	30.53	28.26	35.56
t _B ^{mak} (dak)	8.19	3.76	20.42	22.87	20.26	8.0
J _a ^{mak} 10 ² (dak)	-4.284	-4.55	-1.71	-1.58	-1.30	-19.98
J _a ^{mak} 10 ² (dak)	4.284	4.55	1.71	1.58	1.30	19.98
E _a (kcal/mol)	5.30	17.07	6.09	7.41	5.22	25.79

Literatürde mevcut değişik sıvı membran sistemleri ile yapılan bazı ekstraksiyon çalışmaları Tablo 2’de verilmiştir. Sıvı membranlar ile metal iyonu ekstraksiyonuna dair yapılmış çok fazla sayıda çalışma mevcuttur. Tablo 2’de yer alan çalışmalar nispeten yüksek verimle sonuçlanmış çalışmalardan bazılarıdır. Tablo 2, Tablo 1 ile kıyaslanacak olursa; yeni tasarlanmış ÇDSM sistemi ile elde edilen sonuçların literatürde mevcut klasik çalışmaları ile kıyaslanabilir ölçüde iyi olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 2. ÇDSM sisteminde incelenmiş tüm iyonlar için literatürde yer alan değişik sıvı membran sistemleri ile yapılmış ekstraksiyon çalışmaları

Ekstrakte Edilen Metal	Zn ²⁺	Cd ²⁺	Mo ⁶⁺	Pb ²⁺	Cu ²⁺	Fe ³⁺
Membran Sistemi	BLM	SLM	ELM	HFSLM	BLM	SLM
Taşıyıcı Ligand	D2EHPA	TBP	Aliquat336-Cl Aliquat336-OH	D2EHPA	LIX984N Cyanex272 D2EHPA	Aliquot
Organik Çözücü	Kerosen	Siklohegzan	Dodekan	Toluen	Kerosen	Ksilen
Akseptör Faz	HCl	EDTA	NaOH	HCl	H ₂ SO ₄	6M HCl
Transfer Yüzdesi, (%)	%98.8	%85.4	%85 %75	%97	%80 %75 %70	%99
Referans	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]

IV. SONUÇLAR

ÇDSM sisteminde yapılan onlarca çalışma ve gerçekleştirilen yüzlerce deney neticesinde Zn²⁺, Cd²⁺, Mo⁶⁺, Pb²⁺, Cu²⁺, Fe³⁺ iyonlarının ÇDSM sistemi için belirlenen optimum taşınım koşulları altında %95'in üzerinde ekstraksiyon verimi ile taşınımının mümkün olduğu görülmüştür. Her bir metal iyonu için uygun olan organik ve alıcı fazlar belirlenmiştir. Ayrıca bu metaller için ÇDSM sisteminde ekstraksiyon kinetiği de açıklanmış olup oldukça kapsamlı bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda, ÇDSM sisteminin diğer sıvı membran sistemlerine göre kolay uygulanabilirliği, yüksek membran kapasitesi, az miktarda organik ligant kullanılması, metal iyonlarının taşınım süresinin kısalığı ve endüstriyel atık metal iyonlarının seçimli ekstraksiyonunda kullanılabilirliği gibi bazı önemli avantajlarının olduğu görülmüştür. MDLM sistemi diğer membran sistemleri ile kıyaslandığında en çok BLM (Hacimli sıvı membranlar) sistemi ile benzerlik göstermektedir. Mevcut membran sistemlerinden en belirgin farkı; ÇDSM sisteminin hareketli olmasından dolayı ekstraksiyonda süreklilik sağlaması ve donör faz ile akseptör faz reaktörlerinin tabanındaki poröz camlarla elde edilen damlacıklar sayesinde yüzey alanı genişletilerek organik ligandla sulu çözeltilerdeki metal iyonlarının etkileşiminin artması neticesinde ekstraksiyonun veriminin artması ve süresinin kısaltılmasıdır. Bu da ekonomik açıdan daha az organik ligandla daha yüksek ekstraksiyon verimi elde edilmesini sağlamaktadır.

Sonuç olarak; taşıyıcı ligandlar ve sıvı membran sisteminin deneysel düzeneği kullanılarak verimli sonuçlar elde edilebilir. ÇDSM sıvı membran sistemi, uygun donör, ekstrakt, alıcı çözelti seçilmesi ve çalışma koşulları araştırılması suretiyle; ağır metal endüstrilerinin neden olduğu ağır metal iyonlarını gidermek amacıyla kullanılabilir. Bu sistem ile ağır metal içeren gerçek maden atık sularında donör ve akseptör faz reaktör boyutları artırılarak seçimli olarak metallerin saflaştırılması ve zenginleştirilmesi gerçekleştirilebilir. Organik faz gerekli rejenerasyon işlemlerinden geçirildikten sonra tekrar ekstraktör olarak kullanılabilir. Bu çalışmanın ekonomik, hafif, taşınabilir, operasyonel olarak esnek olan sistem aynı şekilde donör ve alıcı faz reaktörlerinin genişlemesi ile atık su arıtma tesislerine entegre edilebileceği öngörülebilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma çalışması finansal olarak Pamukkale Üniversitesi (Proje No: BAP2011FBE072, BAP2012FBE077) tarafından Bilimsel Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68(1), 167-182.
- [2] Isaac, R. A., Gil, L., Cooperman, A.N., Hulme, K., Eddy, B., Ruiz, M., Jacobson, K., Larson, C., Pancorbo, O.C. (1997). Corrosion in Drinking Water Distribution Systems: A Major Contributor of Copper and Lead to Wastewaters and Effluents. *Environmental Science and Technology*, 31, 3198–3203.
- [3] Xiong, L., Chen, C., Chen, Q., Ni, J. (2011). Adsorption of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solutions using titanate nanotubes prepared via hydrothermal method. *Journal of Hazardous Materials* 189, 741-748
- [4] Ahluwalia, S. S., Goyal, D., (2005). Removal of heavy metals from waste tea leaves from aqueous solution. *Engineering in Life Sciences* 5, 158–162.
- [5] Büyüktuncel, E. (2012). Gelişmiş Ekstraksiyon Teknikleri, *Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi* 32(2), 209-242.
- [6] Gürel L., Büyükgüngör H., (2006). Liquid membranes in advanced treatment, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2, (30-44).
- [7] Şenvar, C. (1986). *Kimyasal Kinetik ve Makromoleküller, Fizikokimya Cilt IV*, Marmara Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- [8] Erdoğan, F., Şahmurat, F. (2007). Mathematical fundamentals to determine the kinetic constants of first-order consecutive reactions, *Journal of Food Process Engineering*, 30, 407-420.
- [9] Yılmaz, A., Kaya, A., Alpoguz, H.K., Ersoz, M., Yılmaz, M. (2008). Kinetic analysis of chromium(VI) ions transport through a bulk liquid membrane containing p-tert-butylcalix[4]arene dioxaocetylamide derivative, *Separation and Purification Technology*, 59(1), 1–8.
- [10] Erden, K. E., Donat, R. (2018). Transportation and kinetic analysis of Zn(II) ions via MDLM system containing D2EHPA as carrier, *Membrane Water Treatment*, 19(1), 23-31.
- [11] Donat, R., Eyice, M.İ. (2018). Extraction of Cd²⁺ ions from MDLM System with TNOA carrier, *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 4, 467-477.
- [12] Donat, R., Durmaz, Ö., Cetisli, H. (2015). Transportation and kinetic analysis of Mo(VI) ions through a MDLM system containing TNOA as carrier, *Journal of Hazardous Materials*, 294, 17–26.
- [13] Durmaz, Ö. (2016). Sıvı membran tekniği ile bazı ağır metal iyonlarının ekstraksiyonunun incelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- [14] Durmaz, Ö., Donat, R., Cetisli, H. (2016). Transportation of Pb(II) ions with D2EHPA as Carrier by MDLM System, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5(12), 47-56.
- [15] Donat, R., Durmaz, Ö., Cetisli H. (2017). The kinetic analysis of optimization and selective transportation of Cu(II) ions with TNOA as carrier by MDLM system, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 25, 415–425.
- [16] Donat, R., Durmaz, Ö. (2019). Extraction of Fe(III) Ions through MDLM System Containing TOPO as Carrier, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 944-955.
- [17] Singh, R., Mehta, R., Kumar, V. (2011) Simultaneous removal of copper, nickel and zinc metal ions using bulk liquid membrane system, *Desalination*, 272 (1-3), 170-173.

- [18] Nowier, H.G., El-Said, N., Aly, H.F. (2000). Carrier-mediated transport of toxic elements through liquid membranes: Transport of Cd(II) from high salinity chloride medium through supported liquid membrane containing TBP/cyclohexane, *Journal of Membrane Science*, 177(1-2), 41–47.
- [19] Kulkarni, P.S., Mahajani, V.V. (2002). Application of liquid emulsion membrane (LEM) process for enrichment of molybdenum from aqueous solutions, *Journal of Membrane Science* 201, 123–135
- [20] Suren S., Pachaoren, U., Kheawhom, S. (2014). Simultaneous extraction and stripping of lead ions via a hollow fibersupported liquid membrane: Experiment and modeling. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, (20), 2584-2593.
- [21] Leon, G., Guzman, M.A. (2008). Facilitated transport of copper through bulk liquid membranes containing different carriers: compared kinetic study, *Desalination*, 223, 330-336.
- [22] Buonomenna, M.G., Molinari, R., Drioli, E. (2002). Selective mass transfer of iron(III) in supported liquid membrane using highly acidic extractants, 3-phenyl-4-acyl-5-isoxazolones, *Desalination*, 148, 257-262.

Araştırma Makalesi - Research Article

Art Arda Yerleştirilmiş Eş Sıcaklıktaki İki Silindir Etrafında Akış ve Isı Geçişi

Zerrin SERT^{1*}, Çisil TİMURALP²

Geliş / Received: 31/03/2020

Revize / Revised: 31/05/2020

Kabul / Accepted: 08/06/2020

ÖZ

Bu çalışmada, ard ard yerleştirilen eş sıcaklıktaki iki silindir etrafındaki akış ve ısı geçişi geçici rejimde sayısal olarak incelenmiştir. İki boyutlu, geçici rejimde süreklilik, momentum ve enerji denklemleri Fluent yazılımı kullanılarak çözdürülmüştür. Çalışma akışkanı olarak hava ($Pr=0.7$) ve su ($Pr=7$) seçilmiştir. Reynolds sayısı 100, 150 ve 200 olarak alınmıştır. Ayrıca silindir merkezleri arasındaki uzaklık, $L/D=1.5$ ve 5 olarak seçilmiştir. Her durum için elde edilen sürükleme katsayısı, kaldırma katsayısı ve Nusselt sayısı gibi akış ve ısı transfer parametreleri, literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılmıştır. $L/D=1.5$ olduğunda iki silindir arasında girdaplar oluşmazken, $L/D=5$ durumunda iki silindir arasında girdapların oluştuğu görülmektedir. Ayrıca Reynolds sayısının artması ile aşağı akış bölgesinde vorteksler ikinci silindire daha yakın bir mesafede oluşmuştur.

Anahtar Kelimeler- Art arda silindirler, Geçici rejim, Isı geçişi, Zorlanmış taşınım

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: zbocu@ogu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-6934-5443>)

Makine Mühendisliği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir, Türkiye

²İletişim: cisil@ogu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2894-3575>)

Makine Mühendisliği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir, Türkiye

Numerical Investigation of Heat Transfer and Fluid Flow Around Two Tandem Cylinders

ABSTRACT

In this study, the unsteady flow and heat transfer from two tandem cylinders are studied numerically. For two-dimensional transient state continuity, Navier-Stokes and energy equations are solved using Fluent® software. The working fluids are considered as air ($Pr=0.7$) and water ($Pr=7$). The simulations are performed for Reynolds numbers of 100, 150 and 200. The distance between the cylinders is also taken as $L/D=1.5$ and $L/D=5$. The flow and heat transfer characteristics such as drag coefficient, lift coefficient and Nusselt number obtained for each case are compared with the studies in the literature. For $L/D=5$, the vortex shedding observed between the cylinders while no vortex is observed for $L/D=1.5$. With an increase in the Reynolds number, vortices are formed closer to the second cylinder in the downstream region.

Keywords- *Tandem cylinders, Transient state, Heat transfer, Force convection*

I. GİRİŞ

Akışkana dalmış cisimler üzerinde akışa, ısı değiştiricileri, bacalar, buhar jeneratörleri gibi birçok mühendislik uygulamasında rastlamak mümkündür. Bir cisme etkiyen dış akış, cismin arkasında girdaplar oluşturarak karmaşık ve zamana göre değişen bir davranış sergilemektedir. Dalmış cisimler etrafındaki akışın düzensiz yapısı yıllardır birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Silindirlerin art arda yerleştirilmesi akışın ve ısı geçişinin daha karmaşık olmasına yol açmaktadır.

Farrant vd. [1], art arda ve çapraz dizilmiş durumlar için dairesel silindirler etrafında iki boyutlu geçici sıkıştırılmaz akışları Reynolds sayısı 200 için incelemişlerdir. Çözümler eşit çaplı, eşit aralıklı dört silindir ve biri dairesel diğeri eliptik iki silindir için verilmiştir. Meneghini vd. [2] aynı Reynolds sayılarında alt alta ve art arda dizilmiş iki dairesel silindir arasındaki akışı ve vortex oluşumunu 2 boyutlu nümerik olarak çalışmışlardır. Buyruk [3] ise $Re=400$ değerinde art arda dizilmiş iki izotermal silindirden, $Re=80, 120$ ve 200 değerlerinde ise şaşırtmalı dizilmiş üç ve dörtgenel dizilmiş dört silindirden ısı transferini nümerik olarak çözmüştür. Kondo ve Matsukuma [4], $Re = 1000$ için art arda dizilmiş iki dairesel silindir etrafındaki akışları 2 ve 3 boyutlu sayısal olarak incelemişlerdir. İki silindir merkezi arasındaki mesafe $2D$ ve $5D$ alınmış, sayısal sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Carmo ve Meneghini [5], art arda dizilmiş bir çift dairesel silindir etrafındaki sıkıştırılmaz akışın 2 ve 3 boyutlu simülasyonlarını, spektral eleman yöntemi kullanarak araştırmışlardır. İncelenen konfigürasyonlarda merkezler arası mesafe $1.5D$ ile $8D$ arasında değişirken Reynolds sayısı için 160 ila 320 aralığında değişen değerler alınmıştır. Eşit olmayan boyutlardaki silindir dizileri etrafındaki su akışını 2 boyutlu, laminer ve geçici durumda $Re=150$ için Huang vd. [6] Fluent programı kullanarak çözmüşlerdir. Bir silindir sırası için, silindir eksenleri arasındaki boşluk $4D$ olduğunda girdap caddesinin stabil olduğu, boşluk $2.5D$ olduğunda ise silindirler arkasındaki girdapların birleşip senkronize şekilde hareket ettiği gözlenmiştir. Re sayısı için 100 ve 200 değerlerinin alındığı art arda ve alt alta dizili iki dairesel silindir etrafındaki akışı Ding vd. [7] çalışmışlardır. Mahir ve Altaç [8] $Re=100$ ve 200 , iki silindir arası mesafe $2D, 3D, 4D, 5D, 7D$ ve $10D$ ve $Pr=0.7$ için iki silindir arkasında oluşan girdapları ticari Fluent programı ile analiz etmişlerdir. Çalışmaları sonucunda literatüre yeni bir Nusselt korelasyonu kazandırmışlardır. Chatterjee ve Mondal [9] çalışmalarında, arka arkaya dizilmiş eş 2 kare silindir arasında girdapların oluştuğu farklı Re sayıları için kritik boşluk oranı olduğunu göstermişlerdir. Abbasi vd. [10] dörtgenel yerleştirilmiş 4 kare silindirde, aralığın bir kenar uzunluğuna oranını $1, 3$ ve 6 olarak Reynolds sayısını da 60 ile 175 aralığında değiştirerek akışı incelemişlerdir. Islam vd. [11] sabit $Re=150$ değerinde alt alta sıralanmış 5 silindirden geçen akışa silindirler arasındaki mesafenin etkisini incelemişler ve farklı akış modellerinin oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Zhang vd. [12] sabit $Re=100$ için art arda yerleştirilmiş iki izotermal dikdörtgen silindir boyunca zorlanmış taşınım en/boy oranının ve dikdörtgenler arası mesafe oranının etkisini incelemişlerdir. Tüm en/boy oranları için, silindirler arasındaki boşluk oranının 3 veya daha küçük değerlerinde sürekli, 4 veya 4 'ten büyük değerlerinde ise geçici rejim gözlenmiştir. Shaaban ve Mohany [13] $Re=200$ için eşit aralıklarla üç sıralı yerleştirilmiş silindirlerden geçen akışı araştırmışlardır. İlk iki silindir arasındaki mesafe $1.05D-2.95D$ aralığında değiştirilirken silindirler arasındaki mesafeye bağlı olarak $1.6D$ ve $1.8D$ 'de iki farklı girdap kopması olduğunu görmüşlerdir. Zhang vd. [14] dörtgenel şekilde dizilmiş 4 kare silindirdeki akışı altkritik Re sayısı 800 için deneysel olarak çalışmışlardır. Silindir merkezleri arasındaki mesafenin çapa oranı $2-5$ aralığında değiştirilirken silindirler $0^\circ-45^\circ$ aralığında 7 farklı açı verilerek konumlandırılmıştır. Bu çalışmalarda yalnız zorlanmış taşınım etkin olup, doğal taşınım ile olan ısı geçişi ihmal edilmiştir.

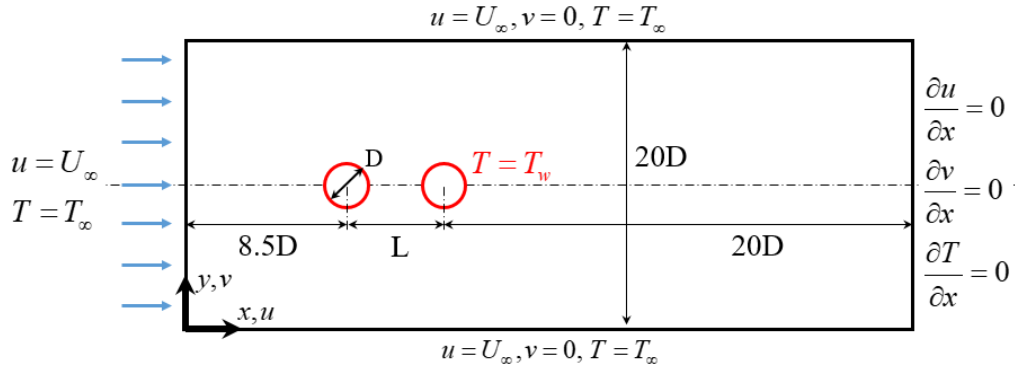
Silindirlerin akışkandan daha sıcak olduğu durumlarla ilgili çalışmalar da literatürde bulunabilir. Bu durumdaki çalışmalarda hem zorlanmış hem de doğal taşınım etkileri çalışılmıştır. İki plaka arasına dik açılı ikizkenar üçgen şeklinde yerleştirilmiş silindirlerdeki zorlanmış taşınımı Re sayısının $100-300$ aralığındaki değerleri ve Grashof sayısının 80000 ve 200000 değerleri için sürüklenme katsayısı ve zaman ortalama Nu sayısı değişimini Jue vd. [15] araştırmışlardır. Rahnama ve Hadi-Moghaddam [16] yaptıkları 2 boyutlu nümerik çalışmada içerisinde ısıtılmış kare silindir bulunan kanal içindeki ısı transferini Richardson (Ri) sayısını 0.0032 olarak geçici laminer akış için çözmüşler ve elde ettikleri zaman ortama Nu sayısı, sürüklenme katsayısı ve Strouhal sayısını literatür ile karşılaştırmışlardır. Chatterjee ve Mondal [17] yaptıkları nümerik, 2 boyutlu çalışmalarında art arda dizilmiş izotermal iki kare silindir etrafında çapraz akışlı Newtonian akışkan için bileşik ısı taşınımını sunmuşlardır. Re sayısı $50-150$ aralığında değişirken Richardson sayısı $0-2$ aralığında değiştirilmiştir. Barros vd. [18], üçgen düzende yerleştirilmiş üç silindir etrafındaki akışı araştırmış ve $Re=100$, $Pr=0.71$ ve Ri sayısının $0.1-10$ aralığındaki değerlerinde çeşitli optimum mesafe oranları için Ri sayısının,

sürüklenme katsayısı ve Nu sayısı üzerindeki etkilerini sunmuşlardır. Sunakrani vd. [19] art arda dizilmiş eliptik silindirlere akış ve ısı transferini $Re=50-200$ aralığında farklı mesafe ve eksen oranları için nümerik olarak çalışmışlar ve mesafe oranı, eksen oranı ve Reynolds sayısının bir fonksiyonu olarak sürüklenme ve Nusselt sayısı için korelasyonlar türetmişlerdir.

Bu çalışmada Reynolds sayısı 100, 150 ve 200 için iki silindir arası mesafe değişiminin akış ve ısı geçişine etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Silindir merkezleri arası uzaklık $L/D=1.5$ ve 5 olarak alınmıştır. Literatür çalışmaları incelendiğinde çalışmalarda bir çeşit akışkan (hava) kullanıldığı görülmektedir. Fakat bu çalışmada Prandtl sayısı farklı olan hava ($Pr=0.7$) ve su ($Pr=7$) akışkan olarak seçilmiştir. Bu şekilde akışkan özelliğinin; farklı Reynolds sayısı ve farklı silindir merkezleri uzaklığında iz bölgesindeki akış değişimi ve ısı geçişi ayrıntılı olarak incelenmiştir.

II. PROBLEMİN TANIMI

$28.5D+L$ uzunluğunda, $20D$ genişliğinde bir kanala art arda yerleştirilen iki silindirin akış ve ısı transferi analizi yapılmıştır. Silindir çapları D olarak alınmıştır. Problemin şematik gösterimi ve koordinat sistemi Şekil 1'de görülmektedir. Kanaldaki iki silindir U_∞ hızında ve T_∞ sıcaklığında akışkana maruz kaldığı kabul edilmiştir. Çalışmadaki akışkan hava ($Pr=0.7$) ve su ($Pr=7$)'dur. Art arda yerleştirilen iki silindir arası mesafe $L=1.5D$ ve $5D$ olarak seçilmiştir. Ayrıca Reynolds sayısının akış parametreleri ve ısı geçişi üzerindeki etkisini incelemek için Reynolds sayısı 100, 150 ve 200 olarak alınmıştır.



Şekil 1. Çalışmada ele alınan geometrinin detayları ve sınır şartları

Tanımlanan bu problemin geçici rejimde, sıkıştırılamaz akış için karakterize eden genel denklemler aşağıdaki gibi ifade edilebilir [8].

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

x-momentum Denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

y-momentum Denklemi:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

Enerji Denklemi:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

Burada (u, v) sırasıyla, (x, y) koordinat sistemine karşılık gelen hız bileşenlerini, p basıncı, ν kinematik viskoziteyi, ρ akışkanın yoğunluğu, T sıcaklığı, $\alpha (= k / \rho c_p)$ ısı yayılım katsayısını, k akışkanın ısı iletim katsayısını, c_p akışkanın özgül ısı kapasitesini temsil etmektedir.

Yönetici denklemlerin çözümünde kullanılacak olan ve problemi tanımlayan sınır şartlar aşağıda verilmiştir [8].

$$\text{Giriş: } u = U_{\infty}, T = T_{\infty}$$

$$\text{Alt ve üst cidarlar: } u = U_{\infty}, v = 0, T = T_{\infty}$$

$$\text{Silindir cidarları: } u = 0, v = 0, T = T_w$$

$$\text{Çıkış: } \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$

Sınır şartlardaki T_w silindir duvar sıcaklığını T_{∞} ve U_{∞} ise sırasıyla gelen akışkanın sıcaklığını ve hızını göstermektedir.

Reynolds sayısı $Re = U_{\infty} D / \nu$ olarak tanımlanmıştır. Silindirler üzerinden hesaplanan kaldırma ve sürüklenme katsayıları Denklem (5)'teki eşitliklerden yararlanılarak hesaplanmıştır. Akışa göre öndeki silindir için alt indis 1, arkadaki silindir için ise alt indis 2 imgesi kullanılmıştır.

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 A}, \quad C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 A} \quad (5)$$

Bu denklemlerdeki F_L ve F_D sırasıyla kaldırma ve sürüklenme kuvvetini, A iz düşüm alanını ifade etmektedir. Ayrıca özellikle belli bir salınım frekansına sahip olan akım problemlerinde oldukça önemli olan ve $St = f D / U_{\infty}$ ile ifade edilen boyutsuz Strouhal sayısında hesaplanmıştır. Burada f frekansı temsil etmektedir.

Sıcak silindir üzerinden alan ortalamalı hesaplanmış ortalama Nusselt sayısı,

$$Nu = \int_{A_s} Nu_s dA_s / A_s \quad (6)$$

ile hesaplanmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı da arka ve öndeki silindir için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

III. NÜMERİK ÇÖZÜM ve DOĞRULAMA

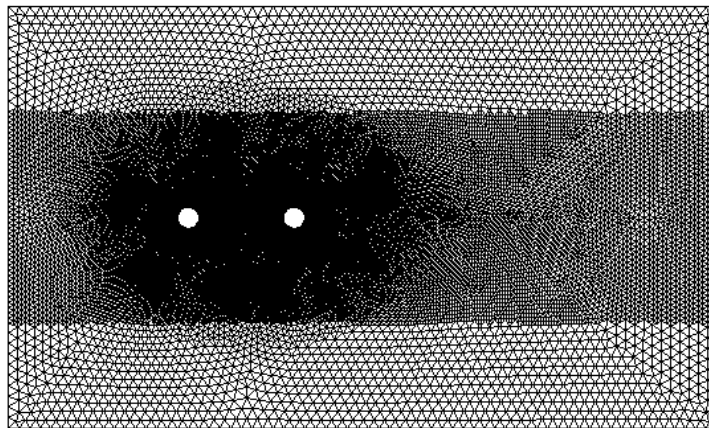
Belirtilen sınır şartlara göre genel korunum denklemleri ticari yazılım olan Fluent® programı ile çözdürülmüştür. İki boyutlu geçici rejimde, süreklilik, Navier-Stokes ve enerji denkleminde çözüm algoritması olarak SIMPLE algoritması ile taşınım terimlerinin ayrıklaştırılmasında ikinci dereceden ileri farklar (Second Order Upwind) ayrıklaştırma yöntemi kullanılmıştır. Tüm denklemlerin yakınsama kriteri 10^{-6} olarak seçilmiştir. Ayrıca çözümlenelerde zaman aralığı (time step) doğruluğu Mahir ve Altaç [8]'in çalışmasında da tespit edilmiş olan 0.05 olarak seçilmiştir. Akış süresi (flow time) her bir durumda 850 değerini geçinceye kadar devam ettirilmiştir.

Yapılan çalışmada ağdan bağımsız çözümler elde edebilmek için $Pr=0.7$ ve $L/D=2$ için iki farklı ağ yapısı literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. $Re=100$ ve 200 değerleri için yapılan sayısal çözümler literatür ile kıyaslanmış ve bu kıyaslama değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Ağ yapısı 1'de 23110 düğüm noktası, 45659 hücre varken; Ağ yapısı 2'de 86671 düğüm noktası, 172157 hücre hücre mevcuttur. Literatür değerleri ile kıyaslama yapıldığında ağ yapısı 1'in yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle her iki silindir için hesaplanan ortalama Nusselt sayılarında (Nu_1 ve Nu_2) hem ağ yapısı 1'in hemde ağ yapısı 2'nin literatürdeki değerleri ile karşılaştırıldığında fark %1'den daha azdır. Bu yüzden optimum ağ yapısı olarak ağ yapısı 1 seçilmiştir.

Tablo 1. $L/D=2$ ve $Pr=0.7$ için bu çalışmadaki sayısal çözümlerin literatür ile kıyaslanması

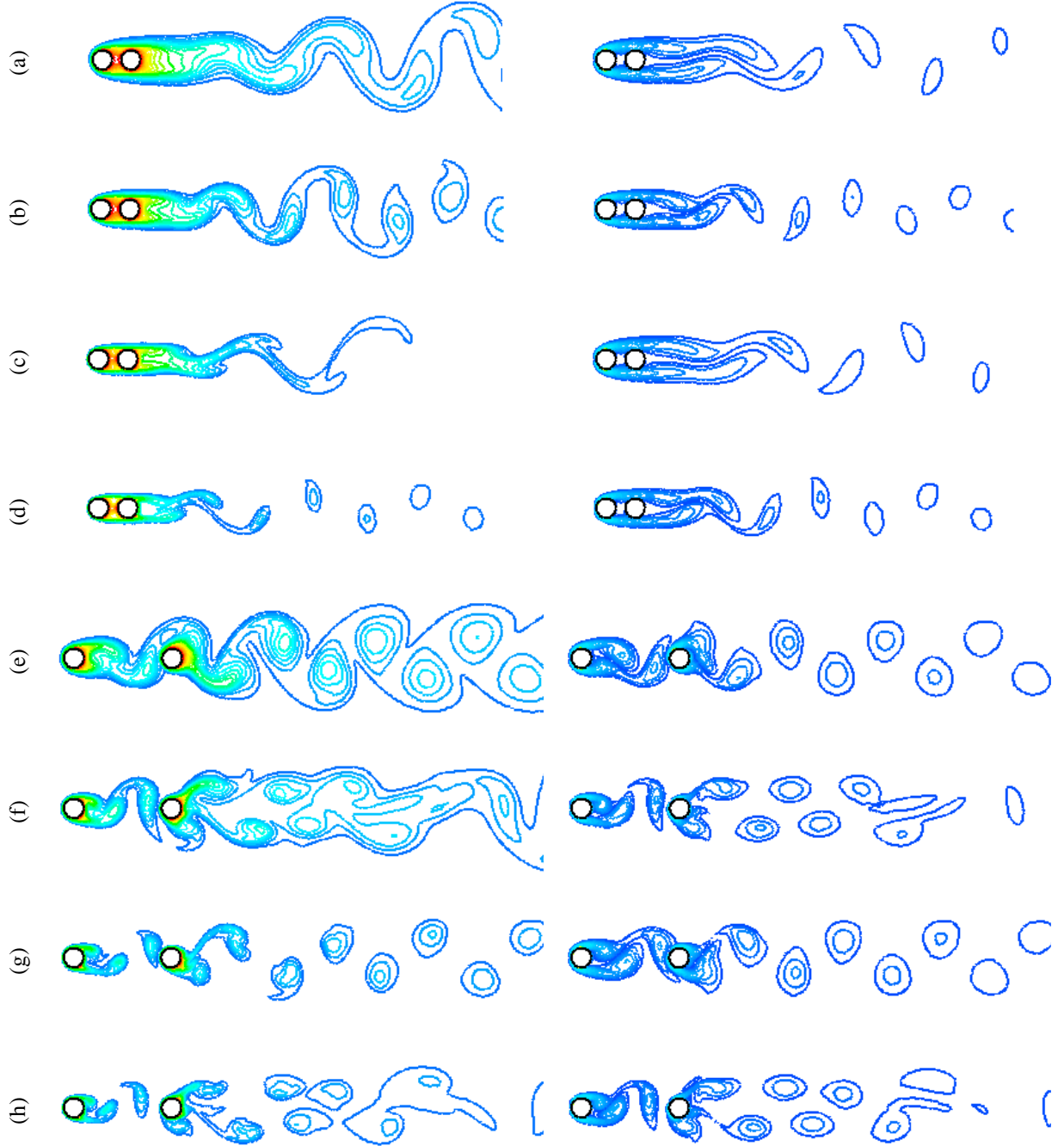
Re		Nu_1	Nu_2	$C_{D,1}$	$C_{L,1}$	St	$C_{D,2}$	$C_{L,2}$
100	Ağ Yapısı 1	4.771	2.034	1.214	± 0.008	0.127	± 0.00013	± 0.0307
	Ağ Yapısı 2	4.738	2.021	1.211	± 0.0037	0.117	± 0.000093	± 0.0135
	Mahir ve Altaç [8]	4.740	2.030	1.225	± 0.0075	-	± 0.00012	± 0.0258
200	Ağ Yapısı 1	6.458	2.88 ± 0.03	1.089 ± 0.0005	± 0.0425	0.137	-0.194 ± 0.0054	± 0.182
	Ağ Yapısı 2	6.451	2.87 ± 0.03	1.082 ± 0.0005	± 0.0405	0.137	-0.199 ± 0.0051	± 0.177
	Mahir ve Altaç [8]	6.460	2.88 ± 0.03	1.06 ± 0.0004	± 0.034	-	-0.21 ± 0.0036	± 0.17
	Meneghini vd. [2]	-	-	1.030	-	0.130	-0.170	-
	Slaouti ve Stansby [20]	-	-	0.89 ± 0.05	± 0.2	0.130	-0.21 ± 0.15	-

Çözümlerde kullanılan ağ yapısı Şekil 2'de verilmiştir. Bu tip problemlerde ayrılan sınır tabaka etkileşimlerinin daha karmaşık olmasından dolayı düğüm sayısı ve bunların dağılımı çok önemlidir. Ağ yapısında üçgen elemanlar kullanılmış olup, silindir etrafında ve aşağı akış bölgesinde daha yoğun olacak şekilde üniform olmayan ağ yapısı oluşturulmuştur.



Şekil 2. Çözümlerde kullanılan ağ yapısı

IV. BULGULAR ve TARTIŞMALAR

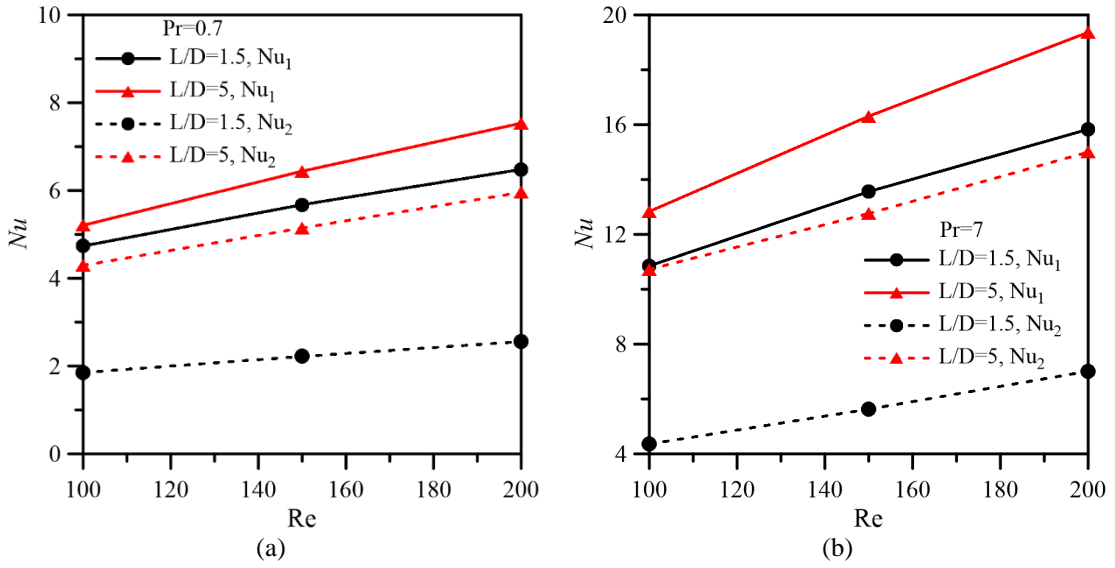


Şekil 3. $L/D=1.5$ (a, b, c, d) ve $L/D=5$ (e, f, g, h), $Re=100$ (a, b, e, f) ve $Re=200$ (c, d, g, h), $Pr=0.7$ (a, c, e, g) ve $Pr=7$ (b, d, f, h) için eş sıcaklık eğrileri (solda) ve girdap eğrileri (sağda)

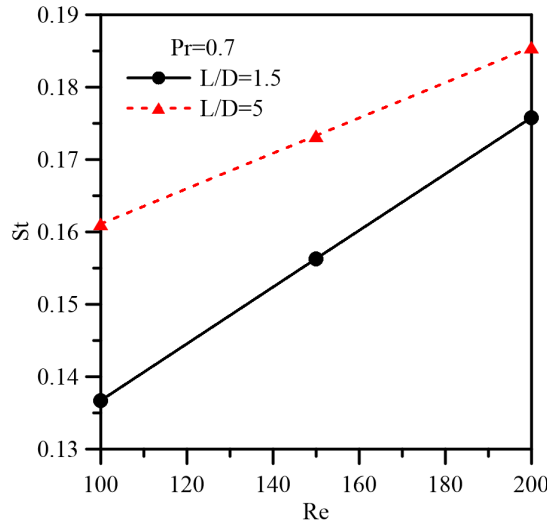
Şekil 3’de eş sıcaklık eğrileri (solda) ve girdap eğrileri (sağda), $L/D=1.5$ ve 5 ve farklı Reynolds ve Prandtl sayıları için gösterilmiştir. Şekil 3 (a), (b), (c) ve (d)’de $L/D=1.5$; Şekil 3 (e), (f), (g) ve (h)’da $L/D=5$; Şekil 3 (a), (b), (e) ve (f)’de $Pr=0.7$; Şekil 3 (c), (d), (g) ve (h)’da $Pr=7$; Şekil 3 (a), (c), (e) ve (g)’de $Re=100$; Şekil 3 (b), (d), (f) ve (h)’da $Re=200$ ’dür. L/D ’nin 1.5 olduğu durumlarda silindirler arasında girdap (vorteks) meydana gelmemekte iken, silindir arası uzaklık 5D olduğu durumda silindirler arasında girdap oluştuğu görülmektedir. $L/D=1.5$ durumunda birinci silindirden (öndeki silindirden) ayrılan hidrodinamik sınır tabaka, ikinci silindire temas etmemekte ve iki silindir sanki tek silindir gibi davranış sergilemektedir. L/D ’nin 5 olduğu durumda ise birinci silindirden ayrılan hidrodinamik sınır tabaka silindirler arasındaki vorteks oluşturmak üzere kıvrılmakta ve ikinci silindire temas etmektedir. Her iki L/D konumunda ise aşağı akış bölgesinde de vorteks meydana geldiği görülmektedir. Özellikle Şekil 3 (a)’nın (b)’ye, Şekil 3 (c)’nin (d)’ye, Şekil 3 (e)’nin (f)’ye, Şekil 3 (g)’nin (h)’a göre karşılaştırılmasında Reynolds sayısının yükselmesiyle birlikte vorteksler ikinci silindire daha yakın bir mesafede oluştuğu görülmektedir. Eş sıcaklık eğrileri incelendiğinde de, termal sınır tabakanın silindir ön yüzeyinde oluştuğu ve arkaya doğru genişlediği görülmektedir. Silindir arka duvarlarında sıcaklık gradyanları daha küçüktür. $L/D=5$ ’de eş sıcaklık eğrileri $L/D=1.5$ durumuna göre daha geniş yer kaplamaktadır. Ayrıca Prandtl sayısının artması ile aşağı akış bölgesinde yani silindir arkasında oluşan girdapların daraldığı görülmektedir. Bu durum Pr sayısının 0.7 değerinde ısı sınır tabakanın daha hızlı gelişmesinden kaynaklı olup, $Pr=0.7$ ’deki eş sıcaklık eğrileri, $Pr=7$ ’deki eş sıcaklık eğrilerine göre daha geniş alana yayılmaktadır.

Şekil 4’de silindirler için akışkanın hava (Şekil 4a) veya su (Şekil 4b) olması durumunda $L/D=1.5$ ve 5 değerlerinde ortalama Nusselt sayısının Re sayısı ile değişimi verilmiştir. Her iki akışkan ve L/D değerlerinde öndeki silindirde Nu sayısı arkadaki silindire göre daha yüksek çıkmıştır. Çünkü ilk silindir ile akışkan arasındaki sıcaklık farkı daha fazladır. Birinci silindirden ısınan akışkan ikinci silindire doğru yöneldiğinde sıcaklığı artmış. Böylelikle ikinci silindir ile akışkan arasındaki sıcaklık farkı azaldığından hesaplanan ortalama Nusselt sayısı daha az çıkmıştır. Re sayısının artmasıyla Nu değeri de artmıştır. Şekil 4a’da her iki silindir için de tüm Re değerlerinde Nu sayısı $L/D=5$ durumunda $L/D=1.5$ durumuna göre daha büyüktür. Bunun nedeni; Şekil 3’teki eş sıcaklık ve girdap eğrilerinden de görüleceği gibi $L/D=1.5$ durumunda silindirler arasında akışkanın durgun olmasıdır. L/D değerinin artmasıyla Nu değerinin artması her iki silindirde de gözlenirken bu artış arkadaki silindirde çok daha fazla olmuştur. Bu değişimler akışkanın su (Şekil 4b) olması durumunda da geçerlidir. L/D değerinin artırılması Nu sayısını arttırırken akışkanın su olması durumunda bu artış daha fazla olmuştur. Tüm Re ve L/D değerlerinde akışkanın su olması durumunda yani yüksek Pr sayısında Nu değerleri daha yüksektir. $Re=150$, $L/D=5$ değerinde öndeki silindir için akışkan hava iken Nu değeri 6.5 civarındayken akışkan su olduğunda yaklaşık 16 değerindedir.

İki farklı L/D değerinde akışkanın hava ($Pr=0.7$) olduğu durumda Strouhal sayısının hem birinci hemde ikinci silindir için Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 5’te verilmiştir. Her iki L/D değerinde de Reynolds sayısının artmasıyla Strouhal sayısı artmıştır. Sabit Reynolds sayısında $L/D=5$ değerinde St sayısı $L/D=1.5$ değerindekinden daha büyüktür. Bu $L/D=5$ durumunda silindirler arasında oluşan vortekslerin periyodunun $L/D=1.5$ durumunda oluşan vortekslerin periyodundan daha büyük olduğunu göstermektedir. Düşük Re sayısında L/D değerleri için St sayısındaki fark fazlayken Re sayısının artmasıyla bu fark azalmıştır.

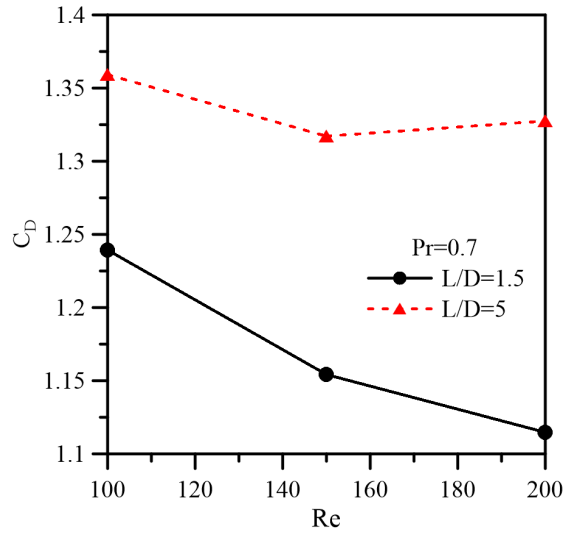


Şekil 4. (a) Pr=0.7 ve (b) Pr=7 için silindirler üzerindeki ortalama Nusselt sayılarının silindirler arasındaki uzaklık ve Reynolds sayısı ile değişimi (1 ve 2 indisleri sırasıyla 1. ve 2. silindir üzerindeki değerlerdir.)



Şekil 5. Strouhal sayısının Reynolds sayısı ve iki silindir arası uzaklık değişimi ile ilişkisi

Şekil 6'da akışkanın hava olması durumunda 2 farklı silindir arası mesafe için (L/D=1.5 ve 5) ortalama sürüklenme katsayısının Re ile değişimi verilmiştir. Silindirler arası mesafe arttıkça, ortalama sürüklenme katsayıları değerleri de artmıştır. Re sayısının artması L/D=1.5 durumunda ortalama sürüklenme katsayısını düşürürken, L/D=5 durumunda Re=150 değerinden sonra çok az yükselir. Örneğin; Reynolds sayısı 150'deki ortalama sürüklenme değeri Reynolds sayısı 200'e göre L/D oranı 1.5 için mutlak farkı yaklaşık ~ %4 azalırken, L/D oranı 5 için ~ % 1'lik bir artış göstermiştir.



Şekil 6. Pr=0.7 için Reynolds sayısı ve iki silindir arası uzaklık değişiminin ortalama sürüklenme katsayısı üzerine etkisi

Tablo 2. 1. ve 2. silindir için ortalama C_L değerleri

Re	$C_{L,1}$				$C_{L,2}$			
	Pr=0.7		Pr=7		Pr=0.7		Pr=7	
	L/D=1.5	L/D=5	L/D=1.5	L/D=5	L/D=1.5	L/D=5	L/D=1.5	L/D=5
100	±0.0182	±0.4211	±0.0182	±0.4211	±0.0509	±1.6093	±0.0509	±1.6093
150	±0.0195	±0.5768	0.0195	±0.5768	±0.0511	±1.5136	±0.0511	±1.5134
200	±0.0211	±0.7153	0.0211	±0.7153	±0.0539	±1.5480	±0.0539	±1.5482

Akışkanın hava ve su olması durumunda farklı Re sayılarında ve silindirler arası farklı mesafelerin olması durumunda her iki silindir için de elde edilen ortalama kaldırma kuvveti katsayısı Tablo 2’de verilmiştir. Ortalama kaldırma katsayısı, Reynolds sayısına bağlı olarak bir veya her iki silindirden girdap dökülmesine bağlı olarak periyodik olarak salınmaktadır. Bununla birlikte, salınımın genliği Reynolds sayısına ve L/D oranına bağlıdır. L/D=1.5 durumunda yani silindir eksenleri arası mesafe az iken C_L değerleri her iki silindir için de düşük iken L/D=5 durumunda C_L değerinde artış olmuştur. Bunun nedeni mesafe arttıkça arada vorteksler oluşmaya başlamıştır. Re sayısının değişimi C_L değerlerinde ilk sıradaki silindirde daha etkili olurken arkadaki silindirde tüm durumlar için çok büyük değişiklik yaratmamıştır.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada iki silindir arası ve arkasındaki akış ve ısı geçişinin etkisi Re=100, 150 ve 200; L/D=1.5 ve 5 için sayısal olarak analiz edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Akış alanındaki girdap eğrileri ile eş sıcaklık eğrilerinin benzer olduğu gözlenmiştir.
- Akış alanındaki girdap eğrileri incelendiğinde L/D=1.5 olduğunda silindirler arasında girdapların oluşmadığı ve akış alanı tek bir silindir haline benzediği görülmüştür. İki silindir arası 5D olduğunda ise silindirler arasında da girdaplar oluşmuştur.
- L/D değerinin artırılması Nu sayısını artırırken akışkanın su olması durumunda bu artış daha fazla olmuştur.
- Silindirler arası mesafe arttıkça, ortalama sürüklenme katsayıları değerleri de artmıştır. Ayrıca ortalama kaldırma katsayısı, Reynolds sayısına bağlı olarak bir veya her iki silindirden girdap dökülmesine bağlı

olarak periyodik olarak salınım göstermektedir ve bu salınımın genliği Reynolds sayısına ve L/D oranına bağlıdır. Örneğin, düşük Reynolds sayısı ve L/D oranı için, genlik çok küçüktür.

- Silindirler arasında girdap oluşumu için kritik uzaklığın belirlenebilmesi için L/D oranı daha fazla çeşitlendirilerek, silindirler arası vortekslerin meydana geldiği kritik uzaklık belirlenerek çalışma zenginleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Farrant, T., Tan, M. & Price, W.G., (2000). A cell boundary element method applied to laminar vortex shedding from circular cylinders. *Journal of Fluids and Structures*, 14(3), 375-402.
- [2] Meneghini, J.R., Saltara, F., Siqueira, C.L.R. & Ferrari, J.A., (2001). Numerical simulation of flow interference between two circular cylinders in tandem and side-by-side arrangements. *Journal of Fluids and Structures*, 15, 327-350.
- [3] Buyruk, E., (2002). Numerical study of heat transfer characteristics on tandem cylinders, inline and staggered tube bank in cross-flow of air. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 29(3), 355-366.
- [4] Kondo, N. & Matsukuma, D., (2005). Numerical simulation for flow around two circular cylinders in tandem. *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, 19 (4), 277-288.
- [5] Carmo, B.S. & Meneghini, J.R., (2006). Numerical investigation of the flow around two circular cylinders in tandem. *Journal of Fluids and Structures*, 22(6-7), 979-988.
- [6] Huang, Z., Olson, J.A., Kerekes, R.J. & Green, S.I., (2006). Numerical simulation of the flow around rows of cylinders. *Computers & Fluids*, 35(5), 485-491.
- [7] Ding, H., Shu, C., Yeo, Y.O. & Xu, D., (2007). Numerical simulation of flows around two circular cylinders by mesh-free least square-based finite difference methods. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 53(2), 305-332.
- [8] Mahir, N., Altaç, Z., (2008). Numerical investigation of convective heat transfer in unsteady flow past two cylinders in tandem arrangements. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 29, 1309-1318.
- [9] Chatterjee, D., & Mondal, B., (2012). Forced convection heat transfer from tandem square cylinders for various spacing ratios. *Numerical Heat Transfer Part A: Applications*, 61(5), 381-400.
- [10] Abbasi, W.S., Shams-Ul-Islam, Saha, S.C. et al. (2014). Effect of Reynolds numbers on flow past four square cylinders in an in-line square configuration for different gap spacings. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28, 539-552.
- [11] Ul Islam, S., Rahman, H. & Zhou, C.Y., (2016). Effect of gap spacings on flow past row of rectangular cylinders with aspect ratio 1.5. *Ocean Engineering*, 119, 1-15.
- [12] Zhang, W., Yang, H., Dou H.S. & Zhu, Z., (2017). Forced convection of flow past two tandem rectangular cylinders in a channel. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 72(1), 89-106.
- [13] Shaaban, M. & Mohany A., (2018). Flow-induced vibration of three unevenly spaced in-line cylinders in cross-flow. *Journal of Fluids and Structures*, 76, 367-383.
- [14] Zhang, J., Chen, H., Zhou, B. & Wang, X., (2019). Flow around an array of four equispaced square cylinders. *Applied Ocean Research*, 89, 237-250.
- [15] Jue, T.C., Wu, H.W. & Huang, S.Y., (2001). Heat transfer predictions around three heated cylinders between two parallel plates. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 40(7), 715-733.

- [16] Rahnama, M. & Hadi-Moghaddam, H., (2005). Numerical investigation of convective heat transfer in unsteady laminar flow over a square cylinder in a channel. *Heat Transfer Engineering*, 26(10), 21–29.
- [17] Chatterjee, D., and Mondal, B., (2013). Mixed convection heat transfer from tandem square cylinders for various gap to size ratios. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 63(2), 101–119.
- [18] Barros, G.M., Lorenzini, G., Isoldi, L.A., Rocha, L.A.O. & dos Santos, E.D., (2017). Influence of mixed convection laminar flows on the geometrical evaluation of a triangular arrangement of circular cylinders. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 114, 1188-1200.
- [19] Sunakraneni, S., Puliyeri, V. & Prakash, AK., (2018). Fluid flow and heat transfer characteristics past two tandem elliptic cylinders: a numerical study. *Journal of Enhanced Heat Transfer*, 25(4-5), 421-441.
- [20] Slaouti, A., Stansby, P.K., (1992). Flow around two circular cylinders by the random vortex method. *Journal of Fluids and Structures*, 6, 641–670.

Araştırma Makalesi - Research Article

Farklı Ultrasonik Ses Dalgası Uygulamalarının *Solanum torvum* Tohumlarındaki Çimlenme ve Çıkış Değerleri Üzerine Etkisi

Murat DEMİRSOY^{1*}, Metin AYDIN², Burak GÜRBÜZ³

Geliş / Received: 02/04/2020

Revize / Revised: 09/06/2020

Kabul / Accepted: 09/06/2020

ÖZ

Bu çalışma, farklı ultrasonik ses dalgası uygulamalarının *Solanum torvum* tohumlarındaki çimlenme ve çıkış değerleri üzerine etkisini tespit etmek amacı ile yürütülmüştür. Bu amaçla tohumlar ultrasonik ses dalgası cihazı aracılığı ile 2 ultrasonik ses dalgası şiddeti (50% ve 100% amplitude) ve 3 ultrasonik ses dalgası süresi (5, 10 ve 15 dk) uygulamasına maruz bırakılmıştır. Bu uygulamaların *Solanum torvum* tohumlarının çimlenme oranı (%), ortalama çimlenme süresi (OÇS), çimlenme indeksi, çimlenme hızı G50 (gün), çıkış oranı (%), ortalama çıkış zamanı (OÇZ), çıkış indeksi ve çıkış hızı E50 (gün) üzerine etkileri ortaya konulmuştur. Araştırma sonucunda, tüm çimlenme ve çıkış değerleri açısından genel olarak 5A5D (50 amplitude-5 dakika) uygulamasının kontrole göre oldukça iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Kontrol uygulamasında 60% civarında olan çimlenme ve çıkış oranları 5A5D uygulamasında sırası ile 96% ve 90% olarak belirlenmiştir. Ancak ortalama çimlenme süresi ve çıkış süresi açısından istatistiki olarak öne çıkan uygulama bulunmamıştır. Çimlenme hızı G50 ve çıkış hızı E50 değerleri yönünden 5A5D uygulamasının 4 gün kadar erken çimlenme ve çıkış sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca 5A5D ultrasonik ses dalgası uygulamasının, erken çimlenme ve yüksek oranda çimlenme ve çıkış oranları üzerine olumlu etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların tohum çimlenme ve çıkış oranı açısından sorun yaşanan birçok bitki türünde kullanımlarına yönelik çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler- *Solanum torvum*, Ultrasonik ses, Çimlenme, Çıkış, Fide

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: mdemirsoy@selcuk.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-4973-2600>)

Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Sarayönü MYO, Ankara yolu 2.km. Sarayönü, Konya.

²İletişim: metinaydin@selcuk.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-8390-611X>)

Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Sarayönü MYO, Ankara yolu 2.km. Sarayönü, Konya.

³İletişim: hgurbuz@selcuk.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-7934-4273>)

Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Sarayönü MYO, Ankara yolu 2.km. Sarayönü, Konya.

Effects on Germination and Emergence Performance of the *Solanum torvum* Seeds of Different Ultrasound Treatment

ABSTRACT

The study was conducted to examine the effects of different ultrasound treatment on seed germination and seedling emergence of the *Solanum torvum* seeds. In study, 2 different ultrasonic sound wave strength (50% and 100% amplitude) and 3 different ultrasonic sound wave duration (5, 10 and 15 min) were applied by ultrasonic sound wave device. Effects on germination rate (%), average germination time (AGT), germination index, germination rate G50 (day), seedling emergence rate (%), average seedling emergence time (ASET), seedling emergence index and seedling emergence rate E50 (day) values of ultrasonic sound wave strength and ultrasonic sound wave duration on *Solanum torvum* seeds were demonstrated. In terms of all these seed germination and seedling emergence values, the application of 5A5D (50 amplitude-5 minute) gave good results compared to the control. The seed germination and seedling emergence rate were determined as 60% in the control application and as 96% and 90% in 5A5D application respectively. No statistically significant application was observed in terms of average seed germination time and seedling emergence time. 5A5D application was determined to cause earlier germination about 4 days in terms of germination rate E50 and G50. It has been determined that 5A5D ultrasonic sound wave application has very positive effects on early and high germination and seedling emergence. This study showed that ultrasonic sound wave method can be tried in many plants that have problems in terms of seed germination and emergence rate.

Keywords- *Solanum torvum*, *Ultrasound*, *Germination*, *Emergence*, *Seedling*.

I. GİRİŞ

Ticari fide üretiminin gün geçtikçe arttığı ülkemizde, 2017 verilerine göre 148 adet üzerinde hazır fide üretim tesisinde yıllık yaklaşık 2.91 milyar adet hazır fide üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu değer türler bazında incelendiğinde yıllık olarak 1.07 milyar adet fide üretimi ile domates ilk sırada yer almaktadır. Patlıcan fidesi ise 61.2 milyon adet üretilmektedir [1]. Türkiye’de aşılı fide üretiminde de gün geçtikçe üretim artışı görülmektedir. Aşılı fide üretimi için patlıcanda birçok farklı anaç kullanılmaktadır. Patlıcan ve domatesin ticari hazır fide üretiminde en çok *Solanum torvum* anaçı kullanılmaktadır [2]. Bu anaç *Fusarium solgunluğuna* (*Fusarium oxysporum* f. sp. melongenae) karşı da dayanıklıdır. Bu virüs enfeksiyonlarının azaltılması yönünden de tercih edilmektedir. Ayrıca bu anaç bitkide toplam verim artışı sağlamaktadır. Yüksek aşı tutma oranı ve birçok toprak patojenine karşı dirençli olması sayesinde *Solanum torvum* oldukça popülerdir [3].

Bitkisel üretimde, başarının ilk koşulu yeterli ve sağlıklı çimlenmedir. Ancak çimlenme döneminde bitki yetiştiriciliğini sınırlandıran pek çok biyotik ve abiyotik stres unsuru oluşabilmektedir. Başarılı bir yetiştiricilik için bu problemlerden sakınmanın agronomik, teknik veya genetik yollarının araştırılması gerekmektedir. Patlıcan ve domates yetiştiriciliğinde anaç olarak kullanılan *Solanum torvum* toprak kökenli pek çok biyotik (*Verticillium dahliae* ve *Fusarium oxysporum* vs.) ve abiyotik (düşük toprak sıcaklığı vs.) stres unsurlarına yeterli dayanıma sahiptir. Ancak *Solanum torvum* tohumlarının çimlenme oranı ve kalitesinde yetersizlikler mevcuttur [4].

Bitkisel üretimde birçok türde çıkış oranı ve çıkış hızı gibi tohumların ekim öncesi performanslarının artırılmasına yönelik olarak birçok çalışma yapılmıştır [4-6]. Bu amaç doğrultusunda fiziksel (ısıtma, soğuklama, sıcak uygulaması, ışık, manyetik alan vb.) ve kimyasal (asidik veya bazik kimyasallar, bitki büyüme düzenleyicileri vb.) birçok farklı yöntem kullanılmıştır. Yapılan literatür taramaları sonucu bazı kimyasal yöntemlerle tohumların çimlenme oranının belirli miktarda artırıldığı görülmüştür [6-8]. Tohumlarda çimlenmenin iyileştirilmesi ve dormansinin ortadan kaldırılması için yapılan uygulamalardan birisi de ultrasonik ses dalgası uygulamalarıdır. Farklı tohumlarda yapılan çalışmalar sonucunda ultrasonik ses dalgası uygulamalarının çimlenme ve çıkış hızında artış gösterdiği bildirilmiştir [5, 6, 9]. Bu çalışmalara benzer olarak birçok farklı türde yapılan çalışmalarda ultrasonik ses dalgasının çimlenme oranını olumlu yönde etkilediği Tablo 1’de ortaya konulmuştur [10].

Tablo 1. Farklı türlerin tohum çimlenme oranı üzerine ultrasonik ses dalgalarının etkisi [10].

Çalışma Kaynağı	Tür	Çimlenme Oranı (%)	
		Kontrol	Ultrasonik Ses Dalgası
[11]	<i>Calanthe discolor</i>	10	60*
[12]	<i>Hordeum vulgare</i> L.	93	99*
[13]	<i>Cicer arietinum</i>	61	97*
[13]	<i>Triticum aestivum</i>	98	100*
[13]	<i>Citrullus vulgaris</i>	98	100*
[14]	<i>Triticum aestivum</i>	90	94*
[14]	<i>Lens culinaris</i> , Med.	92	98*
[15]	<i>Lotus corniculatus</i> L.	77.1	86.1*
[16]	<i>Panicum virgatum</i> L.	66.9	90.1*
[17]	<i>Foeniculum vulgare</i>	90	59.5*
[18]	<i>Helianthus annuus</i> L.	54.6	98*
[18]	<i>Picea abies</i> (L.) Karsten	46	68*
[19]	<i>Pisum Sativum</i>	85	98.1*
[20]	<i>Medicago scutellata</i> (L.) Mill	33.3	96.6*
[21]	<i>Atriplex lentiformis</i>	40	68*
[21]	<i>Cuminum cyminum</i>	44	80*

[21]	<i>Zygophyllum euryptherum</i>	37.5	73.3*
[22]	<i>Festuca arundinacea</i>	38.7	78.7*
[22]	<i>Psathyrostaehys juncea Nevski</i>	39.3	89.3*

*Yapılmış çalışmaların sonuçlar istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur.

Çalışmada gün geçtikçe önemli bir ekonomik değer haline gelen aşılı fide üretiminde anaç olarak kullanılan *Solanum torvum* tohumlarındaki düşük çimlenme ve çıkış değerlerinin artırma olanakları araştırılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

Çalışma S.Ü. Sarayönü Meslek Yüksekokulu bitki laboratuvarında 2017 yılında yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak mükemmel “anaç-kalem” uyumu, güçlü kök yapısı, erkenci ve yüksek verimliliği, çok iyi meyve tutumu ve nematoda karşı yüksek dayanımı sebebi ile öne çıkan Hawk çeşidi kullanılmıştır. *Solanum torvum* patlıcan anaçı (Hawk) tohumlarının içinden kırık, ezik, zedelenmiş veya ait olduğu bitki tohumu özelliklerini göstermeyeler ayrılmıştır. Tohumlara Q700 sonicator (20 khz) ultrasonik ses dalgası cihazı aracılığı ile 2 ultrasonik ses dalgası şiddeti (50% ve 100% amplitude), 3 ultrasonik ses dalgası süresi (5, 10 ve 15 dk) ve kontrol uygulaması 5 tekerrürlü olmak üzere uygulanmıştır. Çalışmamızda (her tekerrür için 20 adet tohum) toplamda kontrol dahil 700 adet *Solanum torvum* tohumu ve 35 adet petri kabı kullanılmıştır. Tohumlara uygulama ultrasonik su banyosu içerisinde saf su ile yapılmış ve kontrol uygulamasında da aynı süre suda bekletme işlemi yapılmıştır. Deneme uygulamalarının kısaltmaları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Denemede kullanılan uygulamaların kısaltmaları.

Amplitude	Süre (dk)	Kısaltma
50%	5	5A5D
50%	10	5A10D
50%	15	5A15D
100%	5	10A5D
100%	10	10A10D
100%	15	10A15D
Kontrol	0	KT

Bu çalışma faktöriyel düzende tesadüf parselleri deneme desenine göre düzenlenmiştir. Tohumlar iklimlendirme dolabında (Nüve İD 501) ISTA kuralları [23] dikkate alınarak çimlendirilmiş ve 15 gün boyunca ölçüm alınmıştır [4]. Çimlenme testinde ilk sayım 15.06.2017 tarihinde ve son sayım 30.06.2017 tarihinde yapılmıştır. Çimlendirme ortamında kullanılan kurutma kâğıtları gözenekli, çim köklerinin kâğıt içinde gelişmesini önleyecek kadar ince yapılı olarak belirlenmiştir. Çimlenme denemeleri için en uygun sıcaklık kabul edilen 25±1 °C’de uygulanmış ve 9 cm’lik steril petri kaplarına 20’şer adet tohum yerleştirilmiştir. Tohumlar petri kaplarına yerleştirdikten sonra 10 ml saf su ile nemlendirilmiştir. Hazırlanan petri kapları karanlık çimlenme koşullarının sağlandığı 3 kat raftan oluşan karanlık iklimlendirme dolabına konulmuştur. Çalışmamızda uygulamalar sonucunda 4, 6, 8, 11,13 ve 15. günlerde sayım ve gözlemler aynı saatte yapılmıştır. Tohumlardaki kökçük uzunluğu 1 mm veya daha büyük olduğunda çimlenmiş sayılmıştır [4].

Yapılan çimlenme testlerinden elde edilen veriler ile çimlenme oranı, ortalama çimlenme süresi, çimlenme indeksi ve çimlenme hızı (G50) değerleri hesaplanmıştır. Çimlenme oranı; [Çimlenen tohum sayısı/Toplam tohum sayısı] x100 formülü yardımı ile yüzde olarak tespit edilmiştir [24]. Ortalama çimlenme süresi çimlenme testi başlangıcından itibaren geçen gün sayısının, bu sürede çimlenen tohum sayısına bölümüyle hesaplanmıştır [25].

$$O\check{C}S = \Sigma Dn / \Sigma n \quad (1)$$

OÇS: Ortalama çimlenme süresi (gün)

D: Deneme başlangıcından itibaren sayılan günler

n: D gününde çimlenen tohum sayısı

Çimlenme hızı G50 çimlenen tohum sayısının 50%'sinin gerçekleştiği gün olarak tespit edilmiştir. Çimlenme hızı belirli orandaki tohumun çimlenmesi için geçen zamanı ifade eder. Farklı ultrasonik ses dalgası uygulamalarına maruz bırakılmış *Solanum torvum* tohumlarının çimlenme verileri (çimlenen tohum sayısı/gün) esas alınarak çimlenme hızları hesaplanmıştır. Çimlenme indeksi, günde çimlenen tohum sayısının çimlenme testi başlangıcından itibaren geçen gün sayısına bölünmesi ile hesaplanmıştır [26].

$$\text{Çimlenme indeksi} = \Sigma G / D = (G1 / D1) + (G2 / D2) + (G3 / D3) + \dots + (GL / DL) \quad (2)$$

G1: ilk kayıttaki çimlenen tohum sayısı

GL: son kayıttaki çimlenen tohum sayısı

D1: ilk kayıttaki gün sayısı

DL: son kayıttaki gün sayısı

Çıkış değerlerinin tespiti için her uygulama tekerrüründen 24 adet olmak üzere toplamda kontrol dahil 840 adet tohum ekimi (1 cm derinliğe) yapılmıştır. Tohumların çıkış özelliklerinin tespit edilebilmesi için farklı ultrasonik ses dalgası uygulamalarına maruz bırakılmış *Solanum torvum* tohumları 3 birim torf ve 1 birim tarım perlitli karışımı ile doldurulmuş 24 hücreli viyollere ekilmiştir. Her bir viyol gözüne tek bir tohum gelecek şekilde ekimleri yapılmıştır. Fidelerin kotiledon yaprakları yere paralel olduğu zaman çıkış kriteri olarak kabul edilmiş ve 20 gün süreyle sayımlara devam edilmiştir [27, 28]. Çıkış testinde ilk sayım 15.06.2017 tarihinde ve son sayım 05.07.2017 tarihinde yapılmıştır. Çıkış oranı belli bir zaman diliminde toprak yüzeyine çıkan bitki sayısı olarak değerlendirilmiş, [Çıkan fide sayısı / Toplam ekilen tohum sayısı] x100 formülü yardımı ile yüzde olarak tespit edilmiştir. Ortalama çıkış süresi çıkış testi başlangıcından itibaren geçen gün sayısının, bu sürede çıkış gösteren tohum sayısına bölümüyle hesaplanmıştır. Çıkış indeksi günde çıkış gösteren tohum sayısının çıkış testi başlangıcından itibaren geçen gün sayısına bölünmesi ile hesaplanmıştır [25]. Çıkış hızı (E50) çıkış gösteren tohum sayısının 50%'sinin gerçekleştiği gün olarak tespit edilmiştir. Çıkış hızı, farklı ultrasonik ses dalgası uygulaması görmüş *Solanum torvum* tohumlarının çıkış sayısının güne bölünmesi esas alınarak tespit edilmiştir. Elde edilen verilerin istatistiksel karşılaştırmaları One-Way Anova ve Duncan testi yöntemiyle P<0.05 ve P<0.01 düzeyinde yapılmıştır. Bu analizler için, SPSS 22 paket programı kullanılmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada *Solanum torvum* tohumlarına farklı ultrasonik ses dalgası uygulamaları sonucu yapılan çimlenme testlerinden elde edilen veriler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. *Solanum torvum* tohumlarında farklı ultrasonik ses dalgası uygulamalarının çimlenme oranı (%), ortalama çimlenme süresi (OÇS), çimlenme hızı (G50) ve çimlenme indeksi değerleri.

Uygulama	5A5D	5A10D	5A15D	10A5D	10A10D	10A15D	KT
Çimlenme Oranı (%)	96 a	81,78 ab	74,67 b	48,22 cd	41,33 d	37,89 d	59,89 c
OÇS	12,32	12,40	12,55	12,56	12,26	12,56	12,47
G50	8,00 a	9,33 a	11,00 a	14,33 bc	15,00 c	15,00 c	11,67 ab
Çimlenme İndeksi	7,97 a	6,12 ab	5,55 abc	3,40 bc	3,41 bc	2,92 c	4,62 bc

a-d: Aynı satırdaki farklı harfler istatistik bakımdan önemlidir (p<0.01).

Çimlenme oranı incelendiğinde 96%'lık çimlenme oranı ile 5A5D uygulamasının istatistiki olarak önemli derecede öne çıktığı tespit edilmiştir. 50% amplitud ultrasonik ses dalgası uygulamasının süresi uzadıkça çimlenme oranında azalma gösterse de kontrole oranla çimlenme oranının arttığı belirlenmiştir. Bu

sonuca paralel olarak, arpa üzerinde yapılan bir çalışmada ultrasonik ses dalgası uygulamasının çimlenme oranını artırdığını bildirmişlerdir [12]. Ayrıca çalışmamızda; 100% amplitude uygulamasının küçük boyutlu olan *Solanum torvum* tohumlarında fiziksel zarar verdiği gözlemlenmiş ve çimlenme oranlarında kontrole göre azalan sonuçlar elde edilmiştir [5]. Ispanak tohumlarında 40 kHz ultrasonik su banyosu içerisinde 0, 20, 40, 60 ve 80 dk. süresince uygulama yapılan ultrasonik ses dalgası uygulamasının çimlenme ve çıkış değerlerini olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir. Ayrıca bir ultrasonik ses dalgası uygulamasının belirli bir süreye kadar (40 dk) çimlenme ve çıkış değerlerini artırdığı, daha yüksek uygulama sürelerinde çimlenme ve çıkış değerlerinde azalma görüldüğü bildirilmiştir [9].

Deneme verileri incelendiğinde ortalama çimlenme süresi açısından uygulamalar arasında istatistiki olarak fark bulunmamış ve değerler 12.26 ile 12.56 gün arasında değişmiştir. G50 değeri açısından istatistiksel olarak 5A5D uygulamasının önemli derecede öne çıktığı tespit edilmiştir. Bu uygulamanın *Solanum torvum* tohumlarında kontrole göre G50 değerine yaklaşık 4 gün erkencilik sağlandığı gözlemlenmiştir. Arpa tohumunda yapılan bir çalışmada ultrasonik ses dalgasının farklı değerlerinde çimlenme süresinin (30%-45%) azaldığı belirtilmiştir [12]. Ispanakta yapılan çalışmada kontrol uygulamasındaki tohum ile kıyaslandığında ultrasonik ses dalgası uygulamalarının ortalama çıkış zamanı açısından önemli ölçüde azalma olduğu tespit edilmiştir [9].

Çimlenme indeksi açısından 50% amplitude uygulamaları öne çıkmıştır. 50% amplitude uygulamaları içinde 5A5D uygulaması 7.97 değeri ile istatistiki olarak $P<0.01$ düzeyinde önemli derecede farklı çıkmıştır. Özellikle kısa süreli ultrasonik ses dalgası uygulamalarında kontrole göre oldukça olumlu sonuçların ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu sonuca benzer olarak *Senna multijuga* tohumlarında yapılan çalışmada ultrasonik ses dalgası uygulamasının kontrole göre çimlenme indisini artırdığı bildirilmiştir [29].

Farklı ultrasonik ses dalgası uygulamaları sonucu *Solanum torvum* tohumlarına yapılan uygulamalardan elde edilen çıkış testi verileri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. *Solanum torvum* tohumlarında farklı ultrasonik ses dalgası uygulamalarının çıkış oranı (%), ortalama çıkış zamanı (OÇZ), çıkış hızı (E50) ve çıkış indeksi değerleri ($P<0.01$).

Uygulama	5A5D	5A10D	5A15D	10A5D	10A10D	10A15D	KT
Çıkış Oranı (%)	89,58 a	82,64 b	78,47 c	63,89 d	65,28 d	50,69 f	61,11 e
OÇZ	10,19	10,09	10,44	10,35	10,77	10,54	10,26
E50	9,57 a	10,33 a	12,66 b	16,00 c	16,00 c	16,00 c	13,68 b
Çıkış İndeksi	18,37 a	16,29 a	11,40 b	11,16 b	8,42 c	7,02 c	11,21 b

a-e: Aynı satırdaki farklı harfler istatistik bakımdan önemlidir ($p<0.01$).

Çıkış oranı grafiği incelendiğinde 89,58%'lik oranı ile çimlenme oranında olduğu gibi 5A5D uygulamasının en yüksek çıkış oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Çıkış oranı değeri kontrolde 61.11% olarak belirlenirken 10A15D uygulamasında 50.69%'a kadar düşmüştür. Arpa tohumlarında yapılan çalışmada 20 kHz dalga boyuna sahip ultrasonik ses dalgası cihazı ile farklı ultrasonik ses dalgası uygulamalarının tohumda çıkış değerlerini yükselttiği belirtilmiştir [5]. Bu sonuç bizim çalışmamızdaki çıkış oranı verilerini destekler niteliktedir. Ortalama çıkış süresi değerleri incelendiğinde uygulamalar arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamış ve değerler 10.09 ile 10.54 gün arasında değişmiştir. Deneme verileri incelendiğinde E50 değeri açısından istatistiksel olarak 50% amplitude uygulamasının 5 ve 10 dk sürelerinin belirgin biçimde öne çıktığı gözlemlenmiştir. 5A5D uygulamasının *Solanum torvum* tohumlarında kontrole göre E50 değerine yaklaşık 4 gün erkencilik sağladığı belirlenmiştir. Çıkış indeksi açısından E50 değerinde olduğu gibi 50% amplitude uygulamasının 5 ve 10 dk sürelerinin istatistiki olarak $P<0.01$ düzeyinde oldukça önemli bulunmuştur.

Çimlenme değerlerine paralel olarak süre ve amplitude değeri arttıkça çıkış indeksinde azalma gözlemlenmiştir. Ancak kısa süreli ultrasonik ses dalgası uygulamasının kontrole göre oldukça olumlu sonuçlarının ortaya çıktığı belirlenmiştir. Uygulamada amplitude değeri ile süre yükseldikçe indeks değerinde düşme gözlemlenmiştir. Ayçiçeği tohumlarında yapılan çalışmada artan ultrasonik şiddetinin tohum çıkış indeksini

arttırdığı bildirilmiştir. Ultrasonik ses dalgası ile muamele edilen tohumların tohum çıkış indeksinin kontrol tohumlarından daha fazla olduğunu ancak uygulama süresi arttıkça azalma görüldüğünü belirtmişlerdir. En yüksek fide tohum çıkış indeksinin 10 dakikalık ultrasonik uygulamasında tespit edildiğini bildirmişlerdir [18].

IV. SONUÇ

Araştırmamızda farklı ultrasonik ses dalgası kombinasyonları denenmiştir. Deneme sonucunda ultrasonik ses dalgası uygulamaları ile tohumun bünyesine su alımı sonucu çıkış oranını ve hızını artırmak hedeflenmiştir. Bu uygulama kombinasyonları sonucunda en yüksek homojen tohum çıkışlarına sahip kombinasyonlar belirlenmiştir. *Solanum torvum* tohumlarının çimlenme oranı (%), ortalama çimlenme süresi (OÇS), çimlenme indeksi, çimlenme hızı G50 (gün), çıkış oranı (%), ortalama çıkış zamanı (OÇZ), çıkış indeksi ve çıkış hızı E50 (gün) değerleri ortaya konulmuştur. Genel olarak çimlenme ve çıkış değerleri açısından 5A5D uygulaması kontrole göre oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Kontrol uygulamasında %60 civarında olan çimlenme oranı 5A5D uygulamasında %96 olarak elde edilmiştir. Yine kontrol uygulamasında %60 civarında olan çıkış 5A5D uygulamasında %90 olarak tespit edilmiştir. OÇS ve OÇZ açısından istatistiki olarak öne çıkan bir uygulama gözlemlenmemiştir. G50 ve E50 verileri yönünden 5A5D uygulamasının erkencilik (yaklaşık 4 gün) ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. 5A5D ultrasonik ses dalgası uygulamasının yüksek oranda çimlenme ve çıkışa oldukça olumlu etkilerinin olduğu da belirlenmiştir. *Solanum torvum* tohumlarında düşük değerlerde ultrasonik ses dalgası uygulaması kontrole göre oldukça olumlu sonuçlar ortaya çıkartırken, uzun süreli yüksek değerlerde ses dalgası uygulamasının kontrolden daha düşük çimlenme ve çıkış değerleri ortaya çıkardığı tespit edilmiştir.

Yapmış olduğumuz çalışmada bir diğer önemli hususta tohum çıkış oranı açısından sorun yaşanan birçok bitkide bu yöntemin denenebileceği gerçeğidir. Ultrasonik ses dalgası uygulamasının etkisinin tohumun büyüklüğü ve kabuk kalınlığına göre değişmesinden dolayı her tohuma uygun farklı uygulama süresi ve ultrasonik ses dalgası şiddeti değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu şekilde çalışmada kullanılan yöntemin homojen çimlenme ve dormansi sorunu olan birçok türde alternatif bir yöntem olarak kullanılabilmesi mümkün olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri koordinatörlüğü tarafından 17401045 proje no'su ile desteklenmiştir. Yazarlar, her türlü katkı ve desteklerinden dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] TAGEM. (2020). *Tarım işletmeleri genel müdürlüğü tohumculuk sektör politika belgesi 2018-2022*. <http://www.tigem.gov.tr>.
- [2] Balkaya, A., Kandemir, D., & Sarıbaş, Ş. (2015). Türkiye sebze fidesi üretimindeki son gelişmeler. *TÜRKTÖB Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi*, 13(4), 4-8.
- [3] Balkaya, A. (2014). Aşılı sebze üretiminde kullanılan anaçlar. *TURKTOB Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi*, 10, 6-9.
- [4] Ranil, R., Niran, H., Plazas, M., Fonseka, R., Fonseka, H., Vilanova, S., Andújar, I., Gramazio, P., Fita, A., & Prohens, J. (2015). Improving seed germination of the eggplant rootstock *Solanum torvum* by testing multiple factors using an orthogonal array design. *Scientia Horticulturae*, 193, 174-181.
- [5] Miano, A., Forti, V., Abud, H., Gomes-Junior, F., Cicero, S., & Augusto, P. (2015). Effect of ultrasound technology on barley seed germination and vigour. *Seed Science and Technology*, 43(2), 297-302.
- [6] Rifna, E., Ramanan, K. R., & Mahendran, R. (2019). Emerging technology applications for improving seed germination. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 95-108.
- [7] Holubowicz, R., Kubisz, L., Gauza, M., Yilin, T., & Hojan-Jeziarska, D. (2014). Effect of low frequency magnetic field (LFMF) on the germination of seeds and selected useful characters of onion. *Notulae*

Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 42(1), 168-172.

- [8] Bewley, J., Bradford, K., Hilhorst, H., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. Germany. 392., 392.
- [9] Dönmez, F. (2018). *Ultrasonik ses dalgası uygulamalarının ıspanak tohumlarında çimlenme ve çıkış üzerine etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı, Isparta.
- [10] Nazari, M. & Eteghadipour, M. (2017). Impacts of ultrasonic waves on seeds: a mini-review. *Agric Res Tech Open Access J*, 6(3), 55-59.
- [11] Miyoshi, K. & Mii, M. (1988). Ultrasonic treatment for enhancing seed germination of terrestrial orchid, *Calanthe discolor*, in asymbiotic culture. *Scientia Horticulturae*, 35(1-2), 127-130.
- [12] Yaldagard, M., Mortazavi, S., & Tabatabaie, F. (2007). The effectiveness of ultrasound treatment on the germination stimulation of barley seed and its alpha-amylase activity. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 34., 154-157.
- [13] Goussous, S., Samarah, N., Alqudah, A., & Othman, M. (2010). Enhancing seed germination of four crop species using an ultrasonic technique. *Experimental Agriculture*, 46(2), 231-242.
- [14] Aladjadjiyan, A. (2011). Ultrasonic stimulation of the development of lentils and wheat seedlings. *Romanian Journal of Biophysics*, 21(3), 179-188.
- [15] Toth, I. (2012). The effects of ultrasound exposure on the germination capacity of birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) seeds. *Roman J Biophys*, 22(1), 13-20.
- [16] Wang, Q., Chen, G., Yersaiyiti, H., Liu, Y., Cui, J., Wu, C., Zhang, Y., & He, X. (2012). Modeling analysis on germination and seedling growth using ultrasound seed pretreatment in switchgrass. *PloS one*, 7(10), 1-10.
- [17] Fateh, E., Noroozi, H., Farbod, M., & Gerami, F. (2012). Assessment of Fennel (*Foeniculum vulgare*) seed germination characteristics as influenced by ultrasonic waves and magnetic water. *European Journal of Experimental Biology*, 2(3), 662-666.
- [18] Machikowa, T., Kulrattanarak, T., & Wonprasaid, S. (2013). Effects of ultrasonic treatment on germination of synthetic sunflower seeds. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 73(1), 53-55.
- [19] Chiu, K. Y. & Sung, J. M. (2014). Use of ultrasonication to enhance pea seed germination and microbial quality of pea sprouts. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(7), 1699-1706.
- [20] Nazari, M., Sharififar, A., & Asghari, H. R. (2014). Medicago scutellata seed dormancy breaking by ultrasonic waves. *Plant Breeding and Seed Science*, 69(1), 15-24.
- [21] Sharififar, A., Nazari, M., & Asghari, H. R. (2015). Effect of ultrasonic waves on seed germination of *Atriplex lentiformis*, *Cuminum cyminum*, and *Zygophyllum eurypterum*. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(3), 102-104.
- [22] Liu, J., Wang, Q., Karagić, Đ., Liu, X., Cui, J., Gui, J., Gu, M., & Gao, W. (2016). Effects of ultrasonication on increased germination and improved seedling growth of aged grass seeds of tall fescue and Russian wildrye. *Scientific Reports*, 6., 1-12.
- [23] ISTA. (2010). *International Rules for Seed Testing*. https://www.seedtest.org/en/international-rules-for-seed-testing-_content--1--1083.html.

- [24] Sivritepe, H. Ö. (2011). Tohum canlılığının değerlendirilmesi. *Alatarım*, 10(2), 94-105.
- [25] Süslüoğlu, Z. (2014). *Bazı tohum ön uygulamalarının tatlı biber tohumlarının stres sıcaklıklarında çimlenme ve çıkış performansları üzerine etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Bingöl.
- [26] Başay, S. & Alpsoy, H. C. (2019). Biber (*Capsicum annuum* L. var. Sürmeli) tohumlarına yapılan vermikompost çayı ön uygulamasının çimlenme parametreleri ve fide kalite özelliklerine etkisi. *Alatarım*, 18(1), 23-29.
- [27] Şehirli, S. (1997). *Tohumluk ve teknolojisi*. İstanbul, 422.
- [28] Sarıbaş, H. Ş., Balkaya, A., Kandemir, D., & Karaağaç, O. (2019). The Phenotypic Root Architectures and Rooting Potential of Local Eggplant Rootstocks (*Solanum melongena* x *Solanum aethiopicum*). *Black Sea Journal of Agriculture*, 2(3), 137-145.
- [29] Venâncio, R. S. S. & Martins, A. C. G. (2019). Overcoming dormancy of *Senna multijuga* seeds with an ultrasonic probe the comparison with ultrasound and sulfuric acid baths. *Ciência Rural*, 49(9), 1-7.

Araştırma Makalesi- Research Article

Uzun Kemik Kırıkları İçin Yeni Bir Sabitleyici Çivi Geliştirilmesi

Mustafa Soylak^{1*}

Geliş / Received: 19/04/2020

Kabul / Accepted: 08/06/2020

ÖZ

İnsan vücudunda femur, tibia ve humerus isimleri ile adlandırılan büyük ve uzun kemikler bulunmaktadır. Bu kemikler bazı istenmeyen olaylar sonucu oluşan ani darbe etkileri ile kırılmakta ve tedavi süreçleri son derece riskli süreçler olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm bu kemiklere ait kırılmalarda tedavinin en önemli bölümü kırık kemiklerin kaynama sağlanana kadar sabitlenmesidir. Kırık kemiklerin tedavi sürecinde sabitlenmesi konusunda bir çok sistem geliştirilmiştir. İnsan vücudunda bulunan büyük ve uzun kemiklerin tedavi süreci boyunca sabitlenmesi konusunda en önemli yöntem intramedüller kilitleme yöntemidir. Bu yöntemde kemik içi boşluğa yerleştirilen ve farklı noktalarında bulunan vida deliklerinden vidalama yapılarak kırık kemiklerin sabitlenmesini sağlayan bir çivi kullanılmaktadır. Bu yöntemle alakalı mevcut teknolojiler incelendiğinde bir çok olumsuzluklarla karşılaşıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında tamamen özgün ve yeni bir intramedüller kilitleme sistemi geliştirilmiş, 3 boyutlu modellemesi yapılmış, çalışma ilkeleri ve sağladığı kazanımlar açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler- İntramedüller Kilitleme, Çivi, Ortopedi, Kırık Tedavisi

Development of a New Fixing Nail for Long Bone Fractures

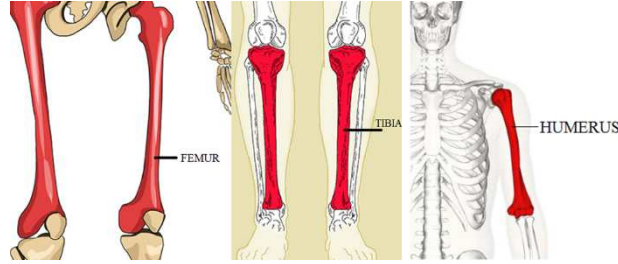
ABSTRACT

There are large and long bones in the human body called femur, tibia and humerus. These bones are broken with sudden impact effects caused by some undesirable events and treatment processes appear as extremely risky processes. The most important part of the treatment in all these bone fractures is to fix the broken bones until healing is achieved. Many systems have been developed to fix broken bones in the treatment process. The most important method for fixing the big and long bones in the human body during the treatment process is intramedullary locking method. In this method, a nail is used which is placed in the bone cavity and which is used to fix the broken bones by screwing through the screw holes located at different points. When the existing technologies related to this method are examined, it is determined that many negativities are encountered. Within the scope of this study, a completely original and new intramedullary locking system has been developed, 3D modelling has been made, the working principles and the gains have been explained.

Keywords- Intramedullary Locking, Nail, Orthopedic, Fracture Treatment

I. GİRİŞ

İnsan vücudunda femur, tibia ve humerus isimleri ile adlandırılan büyük ve uzun kemikler bulunmaktadır. Femur, kalça ekleminden başlamakta diz eklemine sona ermekte ve uyluk kemiği ismiyle de anılmaktadır. Diz ile ayak bileği arasında bulunan kemiklere ise Tibia adı verilmektedir. Diğer büyük boyutlu kemik ise humerus isimli kemiktir ve omuz ile dirsek arasında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. İnsan Vücudunda Bulunan Büyük Kemikler [1,2,3]

Bu kemikler bulunduğu yere ve yaptığı işe göre farklı sebeplerle kırılmaktadırlar. Bu sebeplerden bazıları;

- Direkt darbeler
- Aşırı zorlanmalar
- Düşme
- Trafik kazaları
- Ateşli silah yaralanmaları,vb.

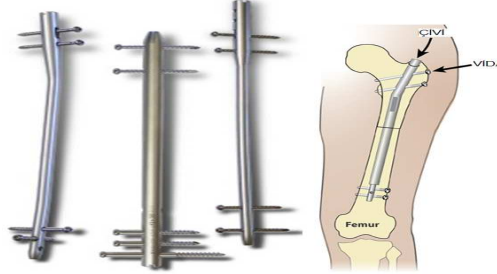
şeklinde sıralanabilir. Bu durumlarda oluşan sonuçlardan bazıları Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2. Büyük kemiklerde oluşan kırıklar (a: Femur, b: Tibia, c:Humerus) [4]

Kırık bölgesinde yapılan radyolojik muayene sonrasında tedavi yöntemine karar verilmektedir. Hangi sebeple olursa olsun öncelikli olarak kırıkla tedaviye gelen hastanın operasyonla kemiğinin sabitlenmesi ve kemik kaynama sürecinde sabit kalması gerekmektedir. Bu tedavi yöntemleri kimi zaman alçı, atel vb. yöntemlerle gerçekleştirilirken bazı durumlarda ise vidalanan plaklar ve/veya intramedüller çivi tedavileri uygulanmaktadır. İntramedüller çivi uygulamasında kırık yerini açarak yada hiç açmadan sabitleyici tüp şeklinde parçanın kemik içine takılması ile kırık bulunan kemiğin sabitlenmesi sağlanır. Bu sabitlemenin sağlanabilmesi için kemik içi boşluğa bir çivi yerleştirilmekte ve bu çivi mevcut durumda kemiğe vidalanarak sabitlenmektedir.

Kemik içine takılan bu komponentin kalacağı süre birkaç aydan ömür boyu sürece kadar uzayabilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. İntramedüller kilitleme [3,5]

İntramedüller kilitleme çok yaygın şekilde kullanılan bir tedavi yöntemidir. Bu tedavi yönteminin uygulanması esnasında yaşanan en büyük problem: kemik içine yerleştirilmiş bir çivi üzerinde bulunan deliklerin ameliyathane ortamında kemik ve doku dışından algılanabilmesi ve bu deliklere vidalama yapılarak sabitleme işleminin gerçekleştirilebilmesidir. Mevcut intramedüller kilitleme teknolojilerinde, uygulama gerçekleştiren cerrah ve ekibinin tüm süreçte yoğun radyasyona maruz kaldığı, çok fazla tecrübe gerektiren, hasta üzerinde yoğun kesi oluşmasına sebep olan yöntemler yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu problemlerin giderilmesi veya en aza indirilebilmesi ve sistemin daha hızlı, güvenilir, kolay uygulanabilir olması ve böylece operasyon süresinin kısaltılarak ameliyathanede bulunan ekibin daha az radyasyona tabi kalması, hastanın daha az kesiye maruz kalması ve sürecin kolaylığı yönünde bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Bu tedavi yöntemi aynı zamanda bir çok mesleki disiplinin ortak çalışmasını gerektiren çok disiplinli bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. İntramedüller çivi uygulaması esnasında ilk çivileme deliğini bulmayı distal kilitleme deliklerini 3,5-5 cm. arasında tasarlayarak kolaylaştıran bir sistem araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olup, ilk vidayı en az hata ve olabilen en az skopi kullanımı ile tespit edebilen bu çalışmada, cerrahi ekip ilk uygulanan vidayı referans alarak kalan vidaları tatbik edebilmektedir [6]. Bir başka araştırmacı gurubu ise mevcut teknolojileri incelemişler, karşılaştırmalı şekilde değerlendirmelerde bulunmuşlardır [7]. İntramedüller çivi uygulamasının biomekanik avantajları olduğu ve bu özelliğine ilave olarak erken sürede hareket etmeye izin verdiği, yüksek kırık iyileşme oranlarına sahip olduğu, düşük enfeksiyon riski taşıdığı için diğer tedavi seçeneklerinden daha üstün olduğu araştırmacılar tarafından gerçekleştirdikleri çalışmalarda belirlenmiştir. Mevcut tüm teknolojiler içinde farklı uzun kemik kırığı tedavileri açısından en iyi yönetimin intramedüller çivi sistemi olduğunu vurgulayan çok sayıda araştırma bulunmaktadır [8-15]. Bir diğer çalışmada araştırmacılar genişleyebilir intramedüller çivileri incelemişler ve günümüzde kullanılan tekniklerin olumlu özelliklerinden hareketle tasarlanıp geliştirildikleri tespitinde bulunmuşlardır. Kemik içine oymadan yerleştirilebilmesi ve daha az cerrahi müdahale gereksinimi olması, stabil kalabilme özelliği, daha az skopi kullanımı, kanlanmaya en düşük düzeyde zarar verme özelliği, uygulanabilirliğin daha kolay olması ve ameliyat süresini kısaltması gibi avantajları öngörülmüştür. Femur cisim kırıklarında genişleyebilir intramedullar çivi uygulamalarının fonksiyonel ve radyolojik sonuçları araştırmacılar tarafından incelenmiş, genişleyebilir intramedüller çivilerde yeterli stabilite sağlanamadığı durumlar olduğu tespit edilmiş [16]. Tüm zorluklarına rağmen uzun kemik kırıklarında intramedüller çivilerin cerrahi tedavide ilk seçenek olduğunu belirten araştırmacılar çok sayıdadır [16-20]. Bu çalışmada mevcut tüm intramedüller çivilere farklı olan, tamamen mekanik çalışan, uygulama esnasında yaşanan sorunları ortadan kaldıran yeni bir sistem geliştirilmiştir. Bu sisteme ait çalışma yapısı, sağladığı kazanımlar ve süreçte beklenen gelişmeler açıklanmıştır.

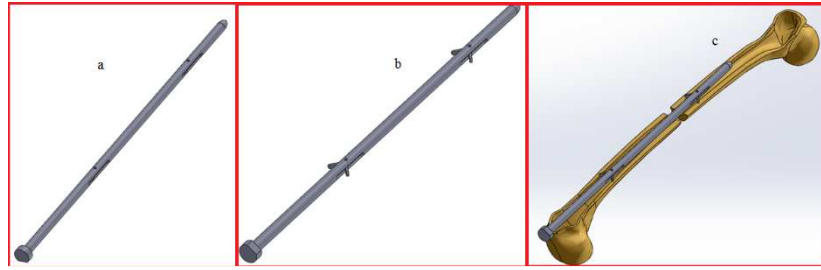
II. MATERYAL VE METOD

İntramedüller çivileme sistemleri uzun kemik kırıklarında en önemli tedavi yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak mevcut teknolojiler incelendiğinde 5 temel başlık altında toplayabileceğimiz problemler olduğu tespit edilmektedir;

1. Çivi üzerinde bulunan sabitleme delik yerlerinin ameliyat ortamında tespit edilme zorluğu,

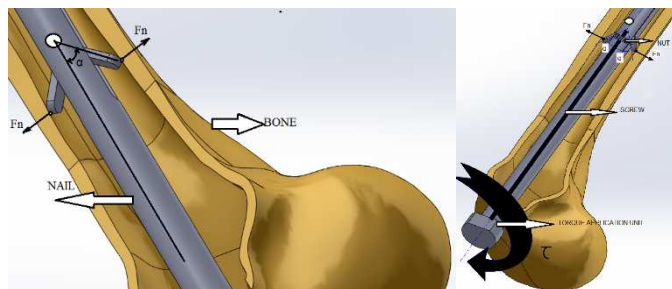
2. Uygulama esnasında cerrahi ekibin ve hastanın maruz kaldığı radyasyon süresinin ve miktarının fazlalığı,
3. Çok fazla kesi yapılması gerekliliği,
4. Çok fazla operator tecrübesi gereksinimi,
5. Tedavi oluştuktan sonra çivinin bulunduğu yerden çıkarılması esnasında oluşan enfeksiyon riski.

Özellikle kemik içine yerleştirilen çivi üzerinde bulunan sabitleme deliklerinin ameliyathane ortamında iken kilitleme esnasında tespiti son derece zor ve bazen imkansız olabilmektedir. Çalışma kapsamında tamamen mekanik bir tasarım geliştirilmiş ve kemik içine yerleştirilen çivinin sabitlenmesi sağlanmıştır. Geliştirilen sistemde herhangi bir vidalama işlemi yapılmamaktadır. Kilitleme işlemi için uygulanan kuvvet sahip olduğu mekanizma ile ayarlanabilmektedir. Süreç sonunda çivinin yerinden çıkarılması veya herhangi bir müdahale gerekmesi durumunda geliştirilen sistem mevcut tüm tasarımlardan daha kolay ve kısa sürede müdahale imkanı vermektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Distal kilitleme Mekanizması Çalışma sistemi (a: Kapalı Durumda, b: Açık durumda(torklanmış), c:Kemik İçi Sabitleme İşlemi Yapılmış)

Çalışma kapsamında geliştirilen intramedüller kilitleme sistemi ile çalışılırken; öncelikli olarak çalışma kapsamında geliştirilen sabitleme çivisi kemik içine yerleştirilmekte ve sabitleme öncesi konumlaması yapılmaktadır. Tork uygulama başlığı vasıtası ile ayarlanabilir tork kolu kullanılarak vida sıkma yönünde çevrilmektedir. Çivi içinde dönme hareketi yapan vidaya takılı olan somun görevi gören parka kemik uzunlama eksenine boyunca lineer hareket yapmakta ve bu esnada somuna entegre edilmiş olan sıkma başlıkları kemik içinde tutmayı sağlayacak α açılma değeri kadar açılmaktadır. Sökme esnasında ise bu süreç tam tersi yönde gerçekleştirilmektedir. Bu açılma hareketi sonucunda kemik üzerinde kilitlemeyi sağlayan bir baskı kuvveti (Fn) oluşmakta ve çivinin kemik içinde sabitlenmesi gerçekleşmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Geliştirilen intramedüller çivi sistemi

Bu esnada uygulanan tork (τ) ile kemik yüzeyine uygulanan kuvvet (Fn) arasındaki ilişki çalışmanın deneysel uygulamaları ve kadavra çalışmaları gerçekleştirildikten sonra net tanımlı hale gelebilecektir. Ancak, tüm kuvvet ve tork değerlerinin ayarlanabilir olması sistemin önemli bir kazanımı ve esnek yapısı olarak görülmektedir. Çalışma kapsamında geliştirilen intramedüller çivileme sistemi sayesinde;

1. Hastanın ve ameliyat ekibinin hiç veya en az seviyede radyasyona tabi kalması,
2. İşlem sürecinde önemli oranda kısıalma ve hastanın daha az anestezi alması,
3. Daha az cerrahi operasyon ve daha az kesi ile operasyonun gerçekleşmesi sayesinde daha kısa iyileşme süreci,
4. Daha az enfeksiyon riski,
5. Daha az operatör tecrübesi ve kolay kullanım imkanları elde edilebilmektedir.

III. SONUÇLAR

Bu çalışmada literatürde bulunmayan tamamen yeni bir intramedüller çivi sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemin 3D modellemesi yapılarak çalışma yapısı açıklanmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen sistemin mevcut sistemlerden yaygın kullanımı olanlar ile karşılaştırması yapılarak avantajlı yönleri belirtilmiştir. Geliştirilen sistemin ayarlanabilir kuvvet kontrolü sağlayan ve en az kesi ile oprasyonu gerçekleştirme imkanı veren kilitleme mekanizması sayesinde ilgili konu hakkında çok önemli kazanım sağlayacağı tespit edilmiştir. Çalışmanın ilerleyen aşamasında prototip geliştirilecek, gerekli izin süreçleri sonrası deneyler yapılarak, kilitleme noktaları ve bu kilitleme işlemlerinde kullanılan yüzey formları ile ilgili alternatifler belirlenecektir. Ayrıca, uzun kemiklerin sahip oldukları eğim ile ilgili oluşturulacak alternatif hareket aktarım yöntemleri incelenecektir. Bu alternatif durumlar arasında esnek malzeme ile güç aktarımı sağlanması, kilitleme noktası sayısının artırılması, kilitleme noktası konumlarının farklılaştırılması ve kilitleme bölgesinde tutunmayı arttıracak farklı yüzey formlarının uygulanması bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Mammoth Memory Web Page (2020). <https://mammothmemory.net/biology/skeletons-and-bones/skeleton-and-bones/femur.html>
- [2] Teach Me Anatomy Web Page (2020). <https://teachmeanatomy.info/upper-limb/bones>
- [3] Medimetal Medical Products Manufacturing and Trading Ltd. Web Page (2020). <http://www.medimetal.hu/en/surgical-systems/tibia-femur-retr-femur->
- [4] Prof. Dr. Mehmet Subaşı (Ortopedi, ve Travmatoloji Uzmanı) Web Sayfası (2020). <https://drmehmetsubasi.com/ortopedik-travma-humerus-kiriklari-16.html>
- [5] International Center for Limb Lengthening (Rubin Institute for Advanced Orthopedics) Web Page (2020). <http://www.limblength.org/treatments/lengthening-deformity-correction-devices/internal-fixation-rods-and-nails/>
- [6] İmroğlu, H.İ., et.all.(2014). Skopi kullanımı gerektirmeyen intramedüller distal kilitleme sistemi: yeni bir cihaz. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2:3, 189-198.
- [7] Rosa, N., et.all. (2019). Intramedullary nailing biomechanics: Evolution and challenges. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 233:3, 295-308.
- [8] Chapman, MW. (1996). The role of intramedullary nailing in fracture management. *In: The Science & Practice of Intramedullary Nailing*, Browner DB (ed), 2nd edition, Williams & Wilkins, Philadelphia, 27-38.
- [9] Bucholz. RW., Brumback. RJ. (1996). Fractures of the Shaft of the Femur. *In: Rockwood and Green's Fractures in Adults*, Rockwood CA, Green DP(ed.), Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, 1827-1918.
- [10] Gausepohl, T., et.all. (2002). Anterograde femoral nailing: an anatomical determination of the correct entry point. *Injury*, 33,701-705.
- [11] Harper, MC., Carson, WL. (1987). Curvature of the femur and the proximal entry point for an intramedullary rod. *Clin Orthop*, 220,155-161.
- [12] Steriopoulos, K., et. all. (1997). Architecture of the femoral medullary canal and working length for intramedullary nailing. *Acta Orthop Scand* ,68,123-126.

- [13] Zuber, K., et. all. (1988). Form and dimension of the bone marrow cavity of the human femur with reference to the fit of intramedullary implants. *Unfallchirurg*, 91, 314–319.
- [14] Harma, A., et.all. (2005). The comparison of femoral curves and curves of contemporary intramedullary nails. *Surg Radiol Anat*, 27, 502–506.
- [15] Portakal, S., et.all. (2004). Kapalı Femur Cisim Kırıklarında Oymalı (Reamed) Teknikle Kilitli İntramedüller Çivileme ve Prospektif Değerlendirme Sonuçları. *Hr.U.Tıp Fak. Der.*, Sayı:2.
- [16] Atay, T., et.all.(2008). Femur Diafiz Kırıklarında Genişleyebilir İntramedüller Çivi Sonuçlarımız. *Kocatepe Tıp Dergisi The Medical Journal of Kocatepe*, 9, 11-15.
- [17] Farouk, O., et.all. (1997). Minimally invasive plate osteosynthesis and vascularity: preliminary results of a cadaver injection study. *Injury*,28:1, 7-12.
- [18] Krettek,C., et.all.(1997). New developments in stabilization of dia- and metaphyseal fractures of long tubular bones. *Orthopade*, 26, 408-21.
- [19] Egol, KA.(2004). Minimally invasive orthopaedic trauma surgery: a review of the latest techniques. *Bull Hosp Jt Dis.*, 62, 6-12.
- [20] Apivatthakakul, T.(2007). Humerus, shaft. In: Tong GO, Bavonratanavech S, editors. AO Manual of fracture management, minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO). New York: Thieme,p. 145-73.

Araştırma Makalesi – Research Article

IoT Tabanlı Platform ile Gerçek Zamanlı İç Ortam Hava Kalitesi İzleme Sistemi

Hakan ÜÇGÜN^{1*}, Fatmanur GÖMBECİ², Uğur YÜZGEÇ³, Nesibe YALÇIN⁴

Geliş / Received: 02/05/2020

Revize / Revised: 11/06/2020

Kabul / Accepted: 12/06/2020

ÖZ

Hava kirliliği, günümüzde karşılaştığımız en büyük problemlerden bir tanesidir. İnsan sağlığı, iklim ve ekosistem üzerinde olumsuz etkilere yol açan hava kirliliğinin artmasında, atmosferdeki kirleticilerin miktarlarındaki artışın yanı sıra iç ortamlardaki hava kalitesindeki katkısı olduğu bir gerçektir. Günlük yaşantısının büyük bir kısmını kapalı iç ortamlarda (evlerde, ofislerde, okullarda, hastanelerde, alışveriş merkezlerinde vb.) geçiren insanlar, ortamın havasındaki zararlı gazlardan ve partikül maddelerden etkilenmekte ve sağlık sorunları yaşayabilmektedir. Bu tarz ortamlardaki yaşam standartlarının insan yaşamı için optimum değerlerde tutulması ve insan sağlığını tehdit edebilecek faktörlerin belirlenerek ortadan kaldırılması ya da etkilerinin azaltılması gerekmektedir. Teknolojik gelişmeler sayesinde ortamın hava kalitesinin belirlendiği sistemler ile bu tarz sorunların ortadan kaldırılması mümkündür. Bu çalışma kapsamında, IoT tabanlı iç ortam hava kalitesi izleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan sistem içerisinde Raspberry Pi 3 kontrol kartı, sıcaklık, nem, gaz ve ışık sensörleri kullanılmıştır. Sensörler aracılığıyla alınan iç ortam verileri, kontrol kartı aracılığıyla işlenerek elde edilmiş ve veri tabanına kaydedilmiştir. Hazırlanan web arayüzü ile iç ortamdaki yaşam koşullarına ilişkin bilgiler anlık olarak takip edilebilmektedir. Geliştirilen hava kalitesi formülü kullanılarak iç ortam hava kalitesi hesaplanarak kullanıcılara aktarılmaktadır. Taşınabilir donanım platformu ile herhangi bir iç ortamın hava kalitesinin tespit edilmesi sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler- İç Ortam Hava Kalitesi, Gerçek Zamanlı İzleme, Nesnelerin İnterneti, Raspberry Pi, Sensör Teknolojileri

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: hakan.ucgun@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9448-0679>)

Bilgisayar Mühendisliği, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Gülümbe Kampüsü, Merkez, Bilecik

²İletişim: fatmanurg.1997@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-3375-3557>)

³İletişim: ugur.yuzgec@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-5364-6265>)

Bilgisayar Mühendisliği, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Gülümbe Kampüsü, Merkez,

⁴İletişim: nyalcin@bartin.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-0324-9111>)

Bilgisayar Mühendisliği, Bartın Üniversitesi, Kutlubey Yazıcılar Kampüsü, Merkez,

Real Time Indoor Air Quality Monitoring System with Platform based on IoT

ABSTRACT

Air pollution is one of the major problems in the world we face today. Air pollution, which has negative effects on human health, climate and ecosystem, increases due to the increase in the amounts of pollutants in the atmosphere and also indoor air pollution. People who spend most of their daily life indoor environments (e.g. homes, offices, schools, hospitals, shopping centers) are affected by harmful gases and particulates in the environment and may have health problems. Living standards in such environments should be kept at optimum values for human life, the factors that may threaten human health should be eliminated, and their effects should be reduced. Thanks to technological developments, it is possible to eliminate such problems with the systems where air quality is determined. Within the scope of this study, IoT based indoor air quality monitoring system has been developed. In the system, Raspberry Pi 3 controller card, temperature, humidity, gas and light sensors are used in the system. The environment data from the sensors has been processed by the control card and then saved to the database. Information about living conditions in the indoor environment can be monitored instantly via web user interface Indoor air quality is calculated using the developed air quality formula and presented to the users. The portable hardware platform enables the determination of air quality in any indoor environment.

Keywords- *Indoor Air Quality, Real Time Monitoring, Internet of Things, Raspberry Pi, Sensor Technologies*

I. GİRİŞ

Nesnelerin interneti (IoT, Internet of Things) teknolojisi, gerçek dünyadaki nesnelerin internet aracılığıyla birbirleri ile haberleşmesini sağlamaktadır [1]. Bu teknoloji ile cihazlar, insan müdahalesi olmadan birbirlerini algılayabilir, tanımlayabilir, iletişim kurarak bilgi transferinde bulunabilir [2]. Genel olarak, veri toplamak ya da veri transferi yapmak için donanım bileşenleri, sensörler, aktüatörler, akıllı cihazlar ve yazılımlar içermektedirler. İç ve dış ortam hava kalitesinin izlenmesi, ev izleme ve güvenlik sistemleri, yaşlı bakım sistemleri, binalarda enerji yönetimi ve mikro iklim izleme sistemleri [3] gibi pek çok IoT tabanlı uygulama günümüzde kullanılmaktadır.

Hava kirliliği atmosferdeki yabancı maddelerin, canlı yaşamına zarar verecek derecede yoğunluğa ulaşması ve ekolojik dengeye zarar vermesi olarak tanımlanabilir. Hava kirliliği, insan hayatını ciddi bir şekilde etkilemekte ve sürekli maruz kalındığında ciddi hastalıklara sebep olabilmektedir [4]. 2019 yılındaki hava kirliliği, sağlık için en büyük çevresel risk olarak kabul edilmiştir. Hava kirliliği, biyokütle yakımı, araç ve fabrikaların kontrolsüz CO yayması, trafik yoğunluğu gibi durumlar sebebiyle artış göstermiştir [5].

Hava kirliliği, faaliyetlerin gerçekleştiği yere bağlı olarak iki gruba ayrılabilir: dış ortam hava kirliliği, tüm atmosferi ve ötesini kapsayan açık bir ortama ilişkin kirlenme iken; iç ortam hava kirliliği, evler, ofisler ve diğer kapalı alanlardaki kirlenmedir [6]. Pek çok insan dış ortamdaki hava kalitesinin sağlıkları için daha önemli olduğunu düşünürken, iç ortamlardaki hava kirliliği ile ilgili potansiyel risklerden habersizdir [7]. Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency, EPA), kirletici seviyeleri kıyasladığında iç ortamların dış ortamlara göre 2 ila 5 kat daha fazla tehlikeli olduğunu söylemektedir [8]. İç ortam kirleticileri, temizlik ürünleri, yalıtım malzemeleri, mobilyalar, ofis ekipmanları gibi kapalı ortamlarda bulunan emisyon kaynaklarından ve solunum, sigara içme, ısıtma, yemek pişirme, gibi iç ortam etkinliklerinden meydana gelmektedir [7].

İç ortam hava kalitesi (Indoor Air Quality, IAQ) konusu, son yıllarda artan hava kirliliğinin önemli sağlık sorunlarına yol açması nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Kapalı ortamlardaki kimyasal maddeler, uçucu organik bileşenler, yemek ve çöp kokuları gibi etmenler hastalıklara sebebiyet vermektedir [9]. İnsanlar, günümüz koşullarında gün içerisinde uzun süre kapalı ortamlarda bulunmaktadır. Bu sebeple, iç ortamlardaki hava kalitesinin insan sağlığına doğrudan etki ettiği rahatlıkla söylenilebilir [10]. IAQ, insanların sağlığı, rahatlığı ve konforu yanında verimliliğini de etkilediği için bu ortamların sürekli gözetlenmesi ve temizlenmesi gerekmektedir. İç ortamların hava kalitesini gözlemlemek ve kontrol etmek amacıyla, iç ortam izleme sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu izleme sistemleri ile özellikle çocuklar, yaşlılar ve hastalar için konforlu ve sağlıklı bir ortam sunulabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, iç ortamlardaki hava kalitesinde meydana gelen değişiklikleri takip etmek amacıyla IoT tabanlı bir izleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistem içerisindeki dijital ve analog sensörlerden (sıcaklık ve nem, gaz, ışık) alınan ortam verilerinin kontrol kartı aracılığıyla işlenmesiyle iç ortamdaki hava kalitesine yönelik değerler elde edilmiştir. Sensör verileri ve hesaplanan IAQ değeri, Wi-Fi ağı üzerinden veri tabanına kaydedilmiştir. Hazırlanan web arayüzü ile veri tabanındaki veriler yazılan web servisler aracılığıyla alınmakta ve kullanıcıların grafiksel ve sayısal olarak IAQ verilerini izleyebilmesi sağlanmaktadır.

II. İÇ ORTAM HAVA KALİTESİ VE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Hava kalitesi bilinci, özellikle sağlık ve yaşam konforu açısından dünya genelinde artmaktadır. Günümüzde insanlar yaşamlarının yaklaşık %90'ını iç ortamlarda geçirmektedir. İç ortamlardaki hava kalitesinin kötü olması, hasta bina sendromu gibi ciddi hastalıklara neden olabilmekte ve giderek artan küresel bir sorun haline gelmektedir [11]. İç hava kalitesi, kapalı ortamlardaki havanın kalitesini belirlemek için kullanılan bir göstergedir ve ortamda bulunan insanların sağlığını, performansını ve konforunu etkileyen ortama ilişkin kirletici seviyeleri, sıcaklık ve nem değerleri, aydınlatma miktarı ile gürültü seviyesi ile ilgilidir [12].

İç ortamlardaki hava kalitesinin izlenmesi ve kontrol edilmesine yönelik çalışmalara bakıldığında, Ha ve arkadaşları [13], gerçek zamanlı sensör verilerini kullanarak IAQ indeksi ve nem indeksini gelişmiş bir iç ortam hava kalitesi indeksinde birleştiren bir hava kalitesi yönetim sistemi önermiştir. İç ortamdaki hava kirletici seviyeleri, bir waspmote sensör ağı ile ölçülürken, hava kalitesi ve nem indeksi verileri, genişletilmiş bir kesirli sıralı Kalman filtresi kullanılarak birbirine bağlanmıştır. Çalışma için bir test merkezi olarak bir ofis binası

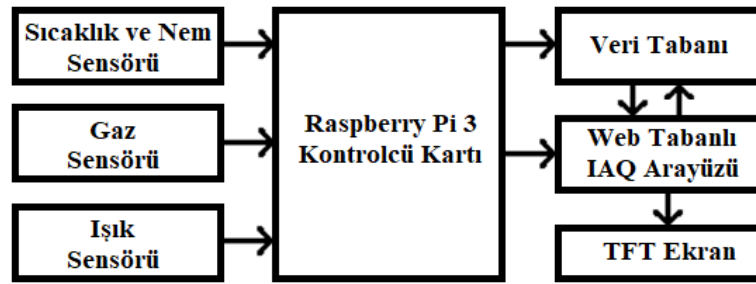
seçilmiştir. Ofis ortamındaki hidrojen, amonyak, etanol, hidrojen sülfür, karbonmonoksit, karbondioksit ve oksijen değerleri ile sıcaklık ve nem parametreleri ile ilgili veriler toplanmıştır. Jo ve arkadaşları [14], iç mekânlardaki hava kalitesini izlemek amacıyla IoT ve bulut bilişim teknolojilerine dayalı "Smart-Air" isimli bir cihaz geliştirmişlerdir. Cihaz ile iç ortamlardaki hava kalitesini her zaman ve her yerde izleyebilmek mümkündür. Cihaz ile ortamdaki aerosol, VOC, CO, CO₂ ve sıcaklık-nem konsantrasyonunu ölçülmekte ve LTE modem üzerinde veriler web sunucusuna aktarılmaktadır. Le ve arkadaşları [15], Vietnam Hanoi'deki ilköğretim okulları içerisindeki sınıflarda bulunan havanın kalitesinin ölçümü ve izlenmesine yönelik bir sistem geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak, okullardaki ana hava kalitesi sorununun özellikle PM_{2.5} olmak üzere partiküler konular olduğu görülmüştür. Marques ve arkadaşları [16], IoT mimarisine dayalı ortamdaki karbondioksit (CO₂) miktarının izlenmesini sağlayan bir sistem geliştirmişlerdir. Sistem içerisinde ESP8266 modülü ve CO₂ sensörü kullanmış ve sensör verilerini, veri tabanında depolanmıştır. Hazırlanan iAirCO₂ uygulaması ile web ve mobil platformlar üzerinden ortamdaki CO₂ miktarının grafiksel olarak izlenmesi sağlanmıştır. Sung ve arkadaşları [17], insanların iç ortamlardaki termal konforunu belirlemek için IoT mimarisi aracılığıyla bir iç ortam termal konfor çevre izleme sistemi geliştirmiştir. Sistemde, Arduino Uno mikro denetleyicisi kullanılarak alınan sensör verileri ESP8266 modülü ile kablosuz olarak veri tabanına kaydedilmiştir. Verilerin izlenmesi ve ortamın kontrol edilmesi için bilgisayar ortamında C# dili ile arayüz hazırlanmıştır. Çalışma sonrasında, termal konfor ve enerji tasarrufu sağlanmıştır. Tiele ve arkadaşları [18], iç ortam kalitesi için düşük maliyetli, taşınabilir bir izleme sistemini tasarlamış ve geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistem ile iç ortamlardaki sıcaklık, nem, PM_{2.5}, PM₁₀, CO, CO₂, aydınlatma ve ses seviyelerinin izlenmesi sağlanmıştır. Sistemin kullanılabilirliğini kontrol etmek için tipik bir iç mekân çalışma ortamı ve dış mekânlarda çeşitli ortamlarda deneyler yapılmıştır. Salamone ve arkadaşları [19], düşük maliyetli sensörler ve açık kaynaklı donanım ve yazılım kullanarak sınırlı bir alandaki iç ortam kalitesini ölçmeyi amaçlayan bir cihaz geliştirmişlerdir. Önerilen nano Çevresel İzleme Sistemi (nEMoS) cihazı, bir bakımevindeki ve ofisteki termal konforu değerlendirmek için kullanılmış ve iyi bir güvenilirliğe sahip olduğu görülmüştür. Zhao ve arkadaşları [20], yeşil çatıların simülasyonu için kullanılan bir prototip rüzgâr tüneline dayanan kablosuz sensör ağları (WSN) sistemi geliştirilmesine yönelik bir sistem sunmuşlardır. PM_{2.5}, rüzgâr hızı, sıcaklık ve bağıl nem konsantrasyonunun aynı anda elde edilmiş ve kullanıcı web sitesi üzerinden gerçek zamanlı olarak izlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, rüzgâr tüneli modülünün ve sensör ağının güvenilirliğini doğrulamıştır. Zhao ve arkadaşları [21], ileri IoT tekniklerini kullanarak bir iç ortam hava kalitesi detektörü (IAQD) geliştirmişlerdir. IAQD, gerçek zamanlı olarak sıcaklık, nem, PM_{2.5}, CO₂ ve formaldehit parametrelerini tespit edebilmektedir. Farklı uygulama senaryolarının ihtiyaçları için, RS485, LoRa, WiFi, GPRS ve NB-IoT gibi çoklu iletişim arayüzleri kullanılmıştır. Deneyler yapılmış ve istatistiksel analiz sonuçları, önerilen IAQ sisteminin güvenilirliğini ve yüksek performanslı olduğunu göstermektedir. Literatür taraması sonucunda elde edilen çalışmaların karşılaştırmalı analizi, Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hava İstasyonlarının Karşılaştırmalı Analizi

Ref.	İşlemci	Ortam Parametreleri	Mimari	Bağlantı	Düşük Maliyet	Veri Erişimi
[13]	ATmega1281 (Waspote)	CO, CO ₂ , Formaldehit, NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , PM _{2.5} , VOC, Sıcaklık, Bağıl Nem	IoT/WSN	Wi-Fi	X	Web
[14]	ARM - STM 32F407IG	Toz, VOC, CO, CO ₂ , Sıcaklık, Nem	IoT	LTE modem	X	Web/Mobil
[15]	-	CO ₂ , NO ₂ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , VOC	Kablolu	Kablolu	X	Monitör
[16]	Tensilica LX6 (SparkFun ESP32)	CO ₂	IoT	Kablolu	√	ThingSpeak Server
[17]	Arduino	Aerosol, CO ₂ , Sıcaklık, Nem, Rüzgâr Hızı	IoT	Wi-Fi	X	PC
[18]	Feather M0 (Adafruit)	PM _{2.5} , PM ₁₀ , CO, CO ₂ , Sıcaklık, Nem, Ses, Işık	Kablolu	I2C/UART	√	OLED Display
[19]	Arduino UNO	Sıcaklık, Bağıl Nem, CO ₂ , Işık, Rüzgâr Hızı	IoT	ZigBee	√	Mobil
[20]	ARM / STM 32F103VET6	Rüzgâr Hızı, Sıcaklık, Nem, PM _{2.5} , Mesafe	IoT	Wi-Fi	√	LCD Display
[21]	ARM / STM 32F103C8T6	Toz, Sıcaklık, Nem, CO ₂ , PM _{2.5} , Formaldehit	IoT	Çoklu Kablosuz	X	Web/Mobil

III. IAQ İZLEME SİSTEMİNİN TASARIMI

Çalışma kapsamında geliştirilen IoT tabanlı IAQ izleme sisteminin çalışma prensibi, Şekil 1'de verilmiştir. Sistem içerisinde Raspberry Pi 3 kontrol kartı, sıcaklık ve nem sensörü, CO₂, gaz sensörü ve ışık sensörü kullanılmıştır. Sistemin çalışma prensibine bakıldığında, ilk aşamada ortam ile ilgili veriler sensörler aracılığıyla ham olarak alınmaktadır. Ham sensör değerleri, Raspberry Pi 3 kontrol kartı aracılığıyla işlenerek ortam koşulları ile ilgili parametre değerleri elde edilmektedir. İkinci aşamada, parametre verileri veri tabanına kaydedilmekte ve web arayüzü aracılığıyla değerler çekilmektedir. Web arayüzüne çekilen veriler, sayısal ve grafiksel olarak kullanıcılara aktarılmaktadır. Sistem içerisinde sensör verilerini almak ve veri tabanına kaydetmek için Python, web arayüzü için ise PHP ve HTML programlama dilleri kullanılmıştır. Arayüz üzerinden ortam parametrelerine ek olarak iç ortamdaki hava kalitesinin sayısal değeri de kullanıcılara aktarılmaktadır.



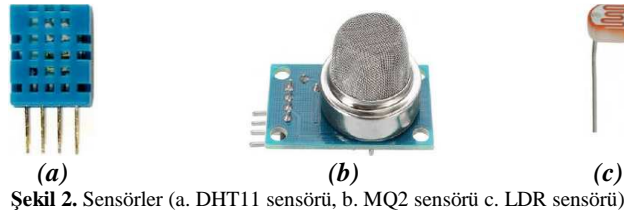
Şekil 1. IAQ izleme sisteminin çalışma prensibi

A. Raspberry Pi 3 Tek Kartlı Bilgisayar

Birleşik Krallık'ta bulunan ve kar amacı gütmeyen Raspberry Pi Vakfı tarafından geliştirilen Raspberry Pi kartları, düşük maliyetli ve kredi kartı büyüklüğündeki bilgisayarlar olarak 2009 yılında piyasaya sürülmüşlerdir. Üzerlerinde bulunan genel amaçlı giriş çıkış pinleri sayesinde, elektronik kart özelliğine sahip olmakta ve programlama yeteneği kazanmaktadır. Çalışmalara kapsamında, Raspberry Pi 3 kontrolcü kartı kullanılmıştır. İçerisinde, ARM tabanlı Cortex A53 işlemcisi, 1 GB RAM, microSD kart yuvaları, kamera arayüzü, HDMI girişi, 2.4 GHz kablosuz internet, bluetooth ve GPIO pinleri gibi çevre elemanları bulunmaktadır. GPIO pinleri sayesinde UART, I2C, SPI vb. seri iletişim protokollerinin yanı sıra sensör kullanımına da imkân sağlamaktadır [22]. Linux ve Windows tabanlı işletim sistemleri ile çalışan bu kart, modüler olarak programlanabilir ve yönetilebilir bir bilgisayardır. Çalışma kapsamında, Raspbian işletim sistemi kullanılmıştır. Raspberry Pi 3 kartı, GPIO modülü üzerinden sensör kontrolünün kolay olması, web erişimi için harici donanım ya da modül gerektirmemesi, çalışmada kullanılan web arayüzü ve veri tabanı bileşenlerinin bütünleşik olarak kullanımı gibi avantajlarından ötürü tercih edilmiştir.

B. IAQ Algılama Birimi

Algılama birimi, iç ortamdaki hava kalitesini izlemek için kullanılan 3 sensörden (DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü, MQ2 Gaz Sensörü, LDR sensörü) oluşmaktadır. DHT11 sensörü, iç ve dış ortamlardaki sıcaklık ve nem verilerinin ölçülmesi amacıyla kullanılan ve dijital olarak çıkış veren 4 pinli bir sensördür. İçerisindeki NTC birimi ile sıcaklığı, nem ölçüm birimi ile nemi ölçmektedir [23]. Şekil 2.a' da DHT11 sıcaklık ve nem sensörü verilmiştir. MQ2 gaz sensörü, iç ortamlarda bulunan bütan, metan, alkol, hidrojen, duman propanı gibi farklı gaz türlerini tespit etmek için kullanılan bir sensördür. Sensör, son derece hassastır ve tepki süresi çok hızlıdır. Analog olarak çıkış veren 4 pinli bir sensördür [24]. Şekil 2.b' de, MQ2 gaz sensörü verilmiştir. LDR sensörleri, ışığa duyarlı olarak çalışan ve yarı iletken malzemelerden yapılmış sensörlerdir ve foto iletkenlik ilkesine bağlı olarak çalışmaktadırlar. Güneş ışıkları, iletken malzemenin üzerine düştüğünde, serbest olan elektronların yer değiştirmesiyle LDR direncinde değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişen direnç değerleri ile bir çıkış değeri verirler. Analog ya da dijital olarak çıkış veren 2 pinli bir sensördür [25]. Şekil 2.c' de LDR ışık sensörü gösterilmiştir. Tablo 2'de, iç ortam parametrelerinin ölçümünde kullanılan sensörlere ait çalışma voltajları ve ölçüm aralıkları verilmiştir.



Tablo 2. İç ortam ölçüm parametreleri

Parametre	Çalışma Voltajı	Ölçüm Aralığı
Sıcaklık [23]	3-5.5V	0-50 °C
Nem [23]	3-5.5V	%20-90 RH
CO Gazı [26]	5V	100-10000 ppm
Duman [26]	5V	100-10000 ppm
Işık [27]	5V	10-1000 lux

C. Veri Tabanı Tasarımı

Çalışma kapsamında sensörlerden elde edilen ortam kalitesi parametrelerinin depolanması, gerçek zamanlı olarak işlenmesi ve web arayüzü üzerinden izlenebilmesi amacıyla bir veri tabanı tasarlanmıştır. Veri tabanı işlemleri için MySQL veri tabanı kullanılmıştır. Raspberry Pi 3 kartı içerisindeki Raspbian işletim sistemine kurulan MySQL sunucusu aracılığıyla çalıştırılan veri tabanına, sensörlerden alınan sıcaklık, nem, ışık şiddeti, duman ve CO gazı değerlerine ek olarak güncel zaman bilgisi de kaydedilmektedir. Veri tabanına kaydedilen parametre değerleri, web servisleri aracılığıyla arayüze aktarılmaktadır. Veri tabanı içerisindeki iç ortam parametreleri, yazılan servis uygulamaları ile web tabanlı kullanıcı arayüzüne aktarılmaktadır.

D. Kullanıcı Arayüzü Tasarımı

İç ortamdaki hava kalitesi değerlerinin kullanıcılara gerçek zamanlı olarak aktarılması amacıyla web tabanlı arayüz geliştirilmiştir. IAQ izlem sistemine ait web arayüzü Şekil 3'de sunulmuştur. Geliştirilen arayüz, web ortamında gerçekleştirilmesiyle, kullanıcılara mobil cihazlar ve bilgisayarlar üzerinden ulaşabilecekleri genel bir erişim imkânı sunulmuştur. Arayüzün çalışma prensibi şu şekildedir. Sensörlerden alınarak veri tabanına kaydedilen parametre değerleri, web arayüzü için yazılan servis uygulaması aracılığıyla veri tabanından ayrı ayrı çekilmektedir. Arayüz içerisinde ortama ait her parametre değeri için grafikler oluşturulmakta ve genel hava kalitesine erişim sağlanmaktadır. Arayüz içerisinde ortama ait son değerlere doğrudan erişim varken, tüm verilere ulaşılma imkânı da bulunmaktadır. Ortamdaki sıcaklık, nem, ışık, duman ve CO gazı gibi parametreler için Highchart interaktif JavaScript kütüphaneleri kullanılarak grafiksel ekranlar oluşturulmuştur.

İÇ ORTAM HAVA KALİTESİ İZLEME İSTASYONU

BİRİMLER	ZAMAN	SICAKLIK (°C)	NEM (%)	ISIK (LUX)	CO (PPM)	DUMAN (PPM)	GENEL HAVA KALİTESİ (%)
Güncel Değerler	2019-07-06 18:51:53	28	54	147	0.015	0.049	94.9

Kabul Edilebilir Ortam Kalitesinde
Değerler Ne Olmalıdır?

Tüm verilere ulaşmak için tıklayınız

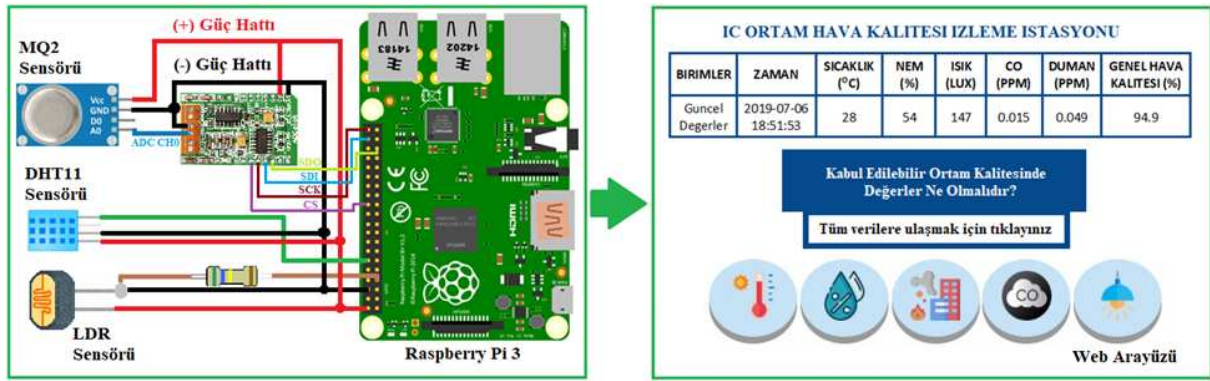


Şekil 3. İç ortam hava kalitesi web arayüzü

IV. IAQ İZLEME SİSTEMİNİN ÇALIŞMA YÖNTEMİ

İç ortamlardaki hava kalitesinin izlenmesi amacıyla geliştirilen sistemin blok diyagramı Şekil 4'te verilmiştir. Sistem içerisindeki sensörlerden alınan analog ve dijital değerler Raspberry Pi kontrol kartı içerisinde dönüşüm işlemlerine tabi tutularak ortam ile ilgili parametre değerleri elde edilmektedir. Elde edilen parametre değerleri, veri tabanına aktarılmaktadır. Geliştirilen kullanıcı arayüzü aracılığıyla veri tabanındaki değerler çekilmekte ve grafiksel olarak kullanıcılara aktarılmaktadır. Geliştirilen sistem ile ortam verileri anlık olarak takip edilebilmektedir.

Sistemde donanım olarak Raspberry Pi 3 kontrol kartı, MQ2 gaz sensörü, ADC click kartı, DHT11 sıcaklık ve nem sensörü ve LDR sensörü kullanılırken, yazılım olarak Python, HTML, PHP ve JavaScript dilleri kullanılmıştır. Raspberry Pi 3 kartında analog dijital dönüştürücü birimi olmadığından MQ2 gaz sensöründen alınan analog değerleri okumak için ADC click kartı kullanılmıştır. Kart üzerinde 4 adet ADC kanalı bulunmaktadır. Bunlardan birincisine MQ2 gaz sensörü bağlanıp ilgili kanaldan analog verilerin okunması sağlanmıştır. Raspberry Pi ile ADC click kartı arasındaki iletişim ise SPI seri haberleşme protokolü üzerinden gerçekleştirilmektedir. Sensörler ile Raspberry Pi 3 kartı arasındaki pin bağlantıları Tablo 3'de verilmiştir



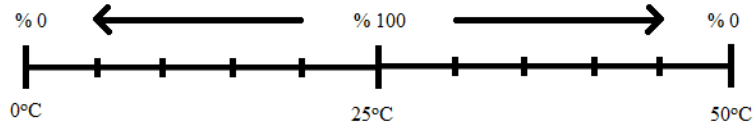
Şekil 4. IAQ izleme sisteminin blok diyagramı

Tablo 3. Pin Bağlantıları

Raspberry Pi 3	Sensörler
BCM4	LDR
BCM18	DHT11
BCM19	(ADC Click) SDO
BCM20	(ADC Click) SDI
BCM21	(ADC Click) SCK
BCM8	(ADC Click) CS

A. Hava Kalitesi Formülü

IAQ'nin belirlenmesi için, çalışma kapsamında bir hava kalitesi formülü oluşturulmuş ve sensörlerden elde edilen parametre değerleri formülde kullanılarak iç ortamdaki hava kalitesinin oranı hesaplanmıştır. Her bir iç ortam parametresi için literatürde yer alan standartlara göre bir eşik seviyesi belirlenmiştir. Literatür taramaları sonucunda, eşik seviyelerini belirlerken ortam parametrelerinin insan sağlığı üzerindeki etkisine ve değerlerinin insanlar için önem durumuna bakılmıştır [28]. Parametrelerin kullanımına örnek olarak seçilen sıcaklık parametresi için Şekil 5'de gösterildiği gibi 0°C - 50°C arasındaki değer aralıkları ele alınmıştır. EN ISO 7730' e göre IAQ açısından ortam sıcaklığının 20-26°C ve nemin %30-70 arasında olması gerekmektedir [28]. Buna uygun olarak çalışmada, en uygun sıcaklık değeri olarak 25°C seçilmiştir. Bu sıcaklık değerinin altı veya üstü uygunsuzluk seviyesine gitmektedir.



Şekil 5. Sıcaklık Parametresinin Yüzdeler Kalite Aralığı

Sıcaklık sensörünün kaba kodu Şekil 6’da verilmiştir. Şekilde sıcaklık değeri için optimum değer olarak 25°C seçilmiştir. Sıcaklığın verimi ile ilgili üç farklı yüzdeler değeri hesaplama işlemi yapılmıştır. Kaba kodda verilen işlemlerde, sıcaklık değerinin 25°C’den küçük, 25°C’e eşit ve 25°C’den büyük olma durumları verilmiştir. Bu durumlara bağlı olarak yüzdeler değeri hesaplanmaktadır. Ortamdaki sıcaklık değeri, 0°C ve 50°C değerlerine yaklaştıkça sıcaklığın yüzdeler verimi düşmektedir. Kaba kodun çalışmasına örnek vermek gerekirse, sıcaklık sensöründen alınan değeri 30°C olsun, sıcaklık değeri “*sıcaklıkKalite = (50 - sıcaklık) * 4;*” formülünde yerine konularak “*(50 - 30) * 4 = 80%*” şeklinde hesaplanacaktır. Diğer sensörler ilgili yapılan kalite hesaplamaları, yüzdeler aralıklarının seçimleri ve formülasyon işlemleri için aynı işlemler yapılmıştır.

Tablo 4’de sensörler ile ölçülen değeri aralıkları, IAQ parametrelerinin ortam seviyeleri, sağlık riski seviyeleri ve çalışma kapsamında seçilen optimum değeri aralıkları verilmiştir. İç ortamdaki hava kalitesinin formülasyon işlemleri yapılırken ortam parametrelerinin seviyeleri ve insan sağlığı üzerindeki risk seviyeleri göz önüne alınmıştır [18, 28, 29].

```
if (sicaklik<25)
    sicaklikKalite = sicaklik * 4;
else if (sicaklik == 25)
    sicaklikKalite = 100;
else
    sicaklikKalite = ( 50 - sicaklik ) * 4;
```

Şekil 6. Sıcaklık Sensörü için Geliştirilen Kaba Kod

Tüm sensörler için kalite değeri hesaplandıktan sonra, genel ortam kalitesi değeri hesaplanmaktadır. Genel ortam kalitesi için kullanılan formül aşağıda verilmiştir. Her parametre için ortam değeri ve belirlenen eşik seviyeleri arasında kıyaslamalar yapılmış ve bu kıyaslamalar ile parametreler üzerinden kalite katsayıları hesaplanmıştır. Her sensör için belirlenen kalite katsayılarını kullanarak genel ortam kalitesi hesaplanmaktadır. Geliştirilen formüldeki “**Ortalama**” değeri, genel hava kalitesi temsil etmektedir.

$$\text{Ortalama} = (\text{CO} * 0.3) + (\text{Sıcaklık} * 0.25) + (\text{Nem} * 0.25) + (\text{Işık Şiddeti} * 0.1) + (\text{Duman} * 0.1) \quad (1)$$

Tablo 4. Ortam Parametrelerinin Kalite Değeri [18,28]

IAQ Parametreleri	Ölçülen Değeri Aralıkları	Ortam Seviyeleri [18]	Sağlık Riski Seviyeleri	Seçilen Değeri Aralıkları
Sıcaklık	0 - 50 °C	16 - 26°C	26>T>20 °C [28]	20 - 25 °C
Nem	20 - 90 %	40 - 70%	70>RH>30 % [28]	40 - 70 RH
Işık Şiddeti	10 - 1000 lux	200 - 500 lux	<100 lux [18]	200 - 300 lux
CO gazı	100 - 10000 ppm	0 - 10 ppm	>10 ppm [18]	0 - 10 ppm
Duman	100 - 10000 ppm	0 - 10 ppm	>10 ppm [29]	0 - 10 ppm

V. IAQ SİSTEMİNİN UYGULAMA TESTLERİ

Geliştirilen IAQ istasyonunun donanımsal görünümü Şekil 7.a’da verilmiştir. İstasyon ile iç ortamdaki hava parametrelerinin hassas bir şekilde ölçülmesi ve işlenmesi sağlanmaktadır. Sensörler ile Raspberry Pi 3 kontrol kartı arasında, Tablo 2’de verilen GPIO pinleri üzerinden bağlantılar yapılmıştır. Web arayüzündeki

verilerin anlık olarak izlenmesi ve takip edilmesi amacıyla istasyon üzerinde TFT ekran kullanılmıştır. Ekran sayesinde bütünlük bir IAQ izleme sistemi geliştirilmiştir. Şekil 7.b’de istasyondaki TFT ekran üzerinden kullanıcılara gösterilen arayüz verilmiştir. Sensörlerden 5 saniyede bir alınan ortama ilişkin sıcaklık, nem, ışık miktarı, duman ve CO gazı verileri veritabanına kaydedilmekte ve web arayüzü üzerinden kullanıcılara sunulmaktadır. Geliştirilen sistemin diğer sistemlere göre kolay kurulum, kablosuz teknolojinin kullanımı, TFT ekran sayesinde ayrı bir donanıma ihtiyaç duyulmadan ortamdaki hava kalitesi anlık olarak görülmesi, tek bir pencere arayüzünde tüm veri erişimi gibi avantajları bulunmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 7. (a) İstasyonunun donanımsal gösterimi, (b) TFT ekranda verilerin gösterimi

Şekil 8’de ortam parametrelerinin web arayüzü üzerinden grafiksel gösterimleri verilmiştir. Grafiklerde iteratif olarak gösterilen verilerde belirli aralıklarda artışların ve düşüşlerin yaşandığı görülmektedir. Bu sonuçlar, sensörlerden elde edilen verilere göre değişmektedir. Şekil 8’de sırasıyla (a) Sıcaklık, (b) Nem, (c) Işık Şiddeti, (d) Duman, (e) CO Gazı ve (f) Genel Ortam Kalitesi değerlerinin grafikleri verilmiştir. IAQ sistemi, laboratuvar ortamında yapılan deneylerle test edilmiştir. Grafiklerinin başlangıcında ortamdaki gaz seviyelerinin düşük olmasına bağlı olarak genel hava kalitesi oranının yüksek olduğu ve son kısımlara doğru seviyenin düştüğü görülmektedir. Bu durum sistemin, hava koşullarının değişimine karşın verilen hızlı tepkiyi göstermektedir. İlerleyen test çalışmalarında, iç ortamın sürekli izlenmesi ile daha kalıcı ve kontrollü bir sistem geliştirilecektir.

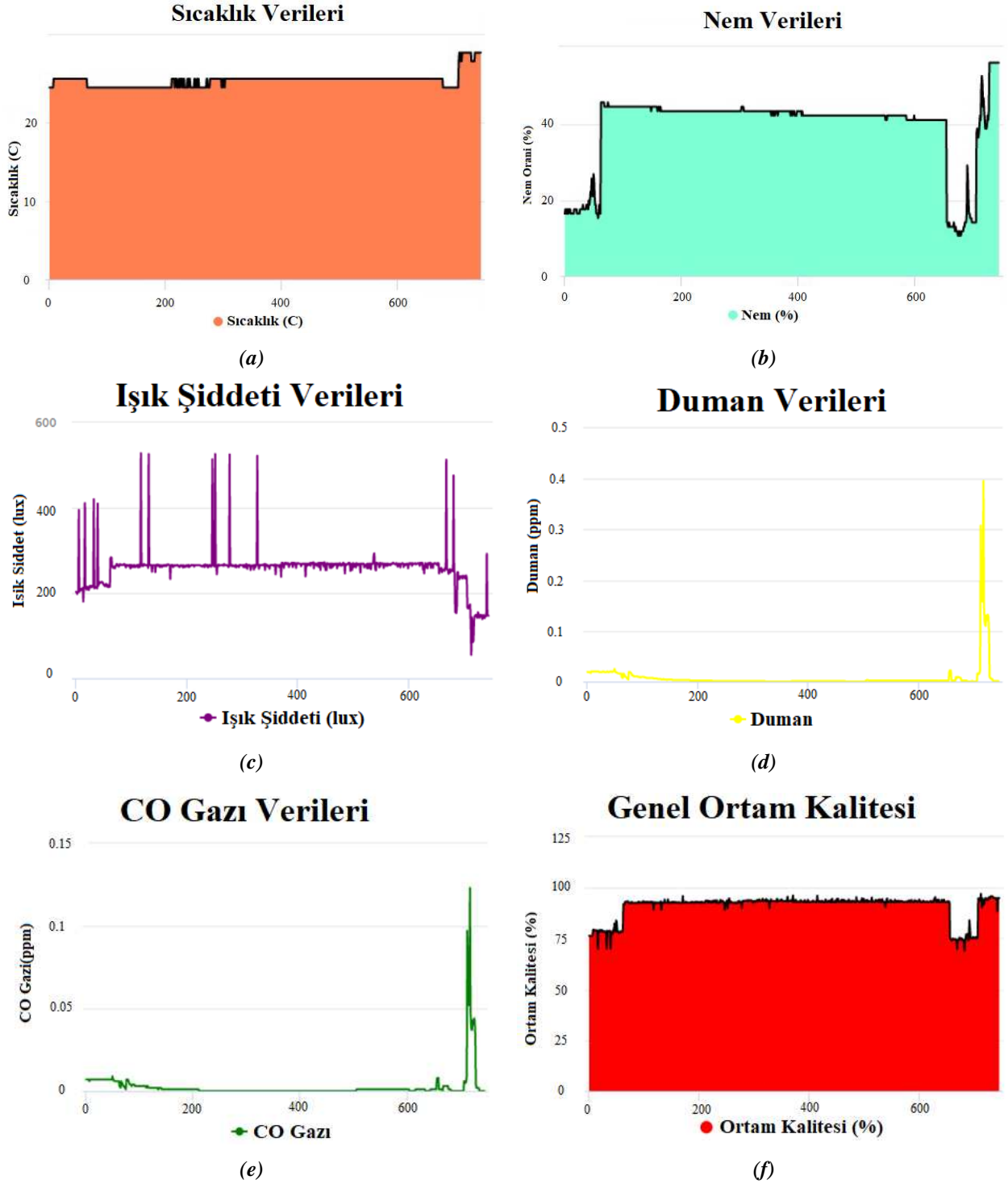
VI. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında, IoT tabanlı IAQ izleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen izleme sisteminde temel amaç, IAQ’ni insan hayatı için en optimum seviyede tutulabilmek ve ortam koşullarından ötürü meydana gelebilecek olan sorunların üstesinden gelmektir. Bu amaca ulaşmak için kolay kurulum özelliğine sahip, düşük maliyetli ve kompakt bir donanım sistemi geliştirilmiştir. Sistem içerisinde Raspberry Pi 3 kontrolcü kartı, DHT11 sıcaklık ve nem sensörü, ışık sensörü ve gaz sensörü kullanılmıştır. Bu sistem ile iç ortamdaki hava parametrelerinin (sıcaklık, nem, ışık şiddeti, duman ve CO gazı) okunarak kullanıcılara görsel olarak aktarılması sağlanmaktadır.

Sensörlerden elde edilen ham veriler, Raspberry Pi 3 kontrolcü kartında işlendikten sonra MySQL veri tabanına kaydedilmiş, daha sonra iç ortamdaki hava kalitesini tespit etmek amacıyla geliştirilen formülde kullanılarak hava kalitesi hesaplanmıştır. Yazılan web servisi aracılığıyla veri tabanından çekilen ortam parametreleri, hazırlanan kullanıcı arayüzü üzerinden grafiksel ve sayısal olarak kullanıcılara aktarılmıştır. Önerilen sistem ile cihazın bulunduğu ortamdaki hava parametrelerinin uzaktan izlenmesine imkân veren bir uygulama sunulmuştur.

Yapılan testler sonucunda elde edilen bilgilerin ışığında, gerçekleştirilen sistemin kabul edilebilir IAQ’nin sağlanması hususundaki katkısının umut verici olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen sistemin yerleştirileceği farklı ortamlara göre farklı performans göstermesi mümkün olacaktır. Örneğin, kapalı mekânlarda

çalışan işçi sağlığını korumak ve işçi performansını artırmak, özel ilgi ve bakım gerektiren hasta, yaşlı ve bebeklerin bulunduğu ortamların sağlığını ve konforunu korumak amacıyla kullanılabilir. İlerleyen çalışmalarda, daha geniş kapsamlı bir iç ortam izleme sisteminin kurulması ve sistemin yapay zekâ teknikleri ile desteklenerek akıllı hale getirilmesi planlanmaktadır.



Şekil 8. Ortamdaki hava kalitesi parametrelerinin grafiksel gösterimleri
(a) Sıcaklık, (b) Nem, (c) Işık şiddeti, (d) Duman, (e) CO gazı, (f) Genel ortam kalitesi

KAYNAKLAR

- [1] Hammami, A. (2019). Smart Environment Data Monitoring. 2019 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS), 3-4 April, Sakaka, Saudi Arabia, pp. 1-6.
- [2] Majumder, A.J.A., Mcwhorter, T.M., Ni, Y., Nie, H., Iarve, J., Ucci, D.R. (2019). sEmoD: A Personalized Emotion Detection Using a Smart Holistic Embedded IoT System. 2019 IEEE 43rd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), 15-19 July, Milwaukee, WI, USA, pp. 850-859.
- [3] Shah J., Mishra, B. (2016). Customized IoT enabled wireless sensing and monitoring platform for smart buildings. *Procedia Technology*, 23, 256-263.
- [4] Venkatanarayanan, A., Vijayavel, A., Rajagopal, A., Nagaradjane, P. (2019). Design of sensor system for air pollution and human vital monitoring for connected cyclists. *IET Communications*, 13(19), 3181-3186.
- [5] Ghosh, R., Gardner, J.W., Guha, P.K. (2019). Air Pollution Monitoring Using Near Room Temperature Resistive Gas Sensors: A Review. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 66(8), 3254-3264.
- [6] Firdhous, M.F.M., Sudantha, B.H., Karunaratne, P.M. (2017). IoT enabled proactive indoor air quality monitoring system for sustainable health management. 2017 2nd International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT), 23-24 February, Chennai, India, pp. 216-221.
- [7] Pham, N.Q, Rachim, V.B., Chung, W.Y. (2018). EMI-Free Bidirectional Real-Time Indoor Environment Monitoring System. *IEEE Access*, 7, 5714-5722.
- [8] Abraham, S., Li, X. (2014). A cost-effective wireless sensor network system for indoor air quality monitoring applications. *[J]. Procedia Computer Science*, 34, 165-171.
- [9] Spiru, P., Simona, P.L. (2017). A review on interactions between energy performance of the buildings, outdoor air pollution and the indoor air quality. *Energy Procedia*, 128, 179-186.
- [10] Başaran, D., Karanfil, B., Tüysüz, B. (2018). Çoklu modül destekli enerji etkin akıllı kontrol sistemi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 468-479.
- [11] Huang, K., Song, J., Feng, G., Chang, Q., Jiang, B., Wang, J., Sun, W., Li, H., Wang F., Fang, X. (2018). Indoor air quality analysis of residential buildings in northeast China based on field measurements and longtime monitoring. *Building and Environment*, 144, 171-183.
- [12] Yalçın, N. (2017). *Gaz Sensörleri ile Ölçüm Sistemleri için Ortam Modelleme ve Simülasyon Geliştirilmesi*. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [13] Quang Phuc Ha, Q.P., Metia, S., Phung, M.D. (2020). Sensing Data Fusion for Enhanced Indoor Air Quality Monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 20(8), 4430-4441.
- [14] Jo, J.H., Jo, B.W., Kim, J.H., Kim, S.J., Han, W.Y. (2020). Development of an IoT-Based Indoor Air Quality Monitoring Platform. *Journal of Sensors*, 2020, Article ID 8749764, 1-14.
- [15] Le, H.A., Linh, V.T.Q. (2020). Investigation of Indoor and Outdoor Air Quality at Elementary Schools in Hanoi, Vietnam. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 36(1), 30-37.
- [16] Marques, G., Ferreira C.R., Pitarma, R. (2019). Indoor Air Quality Assessment Using a CO2 Monitoring System Based on Internet of Things. *Journal of Medical Systems*, 43(67), 1-10.
- [17] Sung, W.T., Hsiao, S.J., Shih, J.A. (2019). Construction of Indoor Thermal Comfort Environmental Monitoring System Based on the IoT Architecture. *Journal of Sensors*, 2019, Article ID 2639787, 1-16.

- [18] Tiele, A., Esfahani, S., Covington, J. (2018). Design and Development of a Low-Cost, Portable Monitoring Device for Indoor Environment Quality. *Journal of Sensors*, 2018, Article ID 5353816, 1-14.
- [19] Salamone, F., Belussi, L., Danza, L., Ghellere, M., Meroni, I. (2015). Design and development of nEMoS, an all-in-one, low-cost, web connected and 3D-printed device for environmental analysis. *Sensors*, 15(6), 13012–13027.
- [20] Zhao, Z., Wang, J., Fu, C., Liu, Z. Liu, D., Li, B. (2018). Design of a Smart Sensor Network System for Real-Time Air Quality Monitoring on Green Roof. *Journal of Sensors*, 2018, Article ID 1987931, 1-13.
- [21] Zhao, L., Wu, W., Li., S. (2019). Design and Implementation of an IoT-Based Indoor Air Quality Detector with Multiple Communication Interfaces. *IEEE Internet of Things*, 6(6), 9621-9632.
- [22] Chen, P.H., Cross, N. (2018). IoT in Radiology: Using Raspberry Pi to Automatically Log Telephone Calls in the Reading Room. *Journal of Digital Imaging*, 31, 371-378.
- [23] Divya, M., Subhash, N., Vishnu, P., Tejesh, P. (2020). Smart Health Care Monitoring Based on Internet of Things (IoT). *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*, 3(1), 409 - 414.
- [24] Nowshin, N., Mazumder, P., Soikot, M.A., Probal, M., Qadir, M.U. (2019). Designing and Implementation of Microcontroller Based Non-Invasive Health Monitoring System. 2019 International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST), 10-12 January, Dhaka, Bangladesh, pp. 134-139.
- [25] Dheena, P. P. F., Raj, G.S., Dutt, G., Jinny, S.V. (2017). IOT based smart street light management system. 2017 IEEE International Conference on Circuits and Systems (ICCS), 20-21 December, Thiruvananthapuram, India, pp. 368-371.
- [26] Light Dependent Resistor Datasheet. (1997). http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/sites/default/files/gelisim/elektronik/dosyalar/40/LDR_NSL19_M51.pdf, (11.16.2020)
- [27] Hanwei Electronics. (2020). Technical Data MQ-2 Gas Sensor Datasheet, <http://www.haoyuelectronics.com/Attachment/MQ-2/MQ-2.pdf>, (11.16.2020)
- [28] Olesen, B.W. (2000). Guidelines for Comfort. *ASHRAE Journal*, 40-45.
- [29] Perera, I. E., Litton, C. D. (2014). Evaluation of Smoke and Gas Sensor Responses for Fires of Common Mine Combustibles. *Transactions of Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc*, 336(1), 381–390.

Araştırma Makalesi - Research Article

Türk ve Filtre Kahve Örneklerindeki Toplam Antioksidan Kapasitelerin Elektrokimyasal Yöntemlerle Belirlenmesi

Sevinç Yıldırım¹, Ersin Demir^{2*}, İlkey Gök³

Geliş / Received: 13/05/2020

Revize / Revised: 02/06/2020

Kabul / Accepted: 03/06/2020

ÖZ

Bu çalışmada, az, orta ve koyu gibi değişik derecelerde farklı kavrulmuş kahve çekirdekleriyle demlenen Türk ve Filtre kahvelerindeki toplam antioksidan kapasitesinin (TAC) belirlenmesi için dönüşümlü (CV), kare dalga sıyırma (SWSV) ve diferansiyel puls sıyırma (DPSV) voltametik yöntemlerle kullanıldı. Voltametik parametreleri, karbon pasta elektrotu (CPE) kullanılarak pH 4.0 Britton-Robinson tampon çözeltisinde optimize edildi. Standart antioksidan maddeleri olarak gallik asit ve kuersetin'in elektrokimyasal davranışı CPE üzerinde optimum koşullar altında CV, SWSV ve DPSV teknikleri ile incelendi. Her üç elektrokimyasal tekniklerle (CV, SWSV, DPSV) gallik asit için yaklaşık 350 mV ve 700 mV'ta olmak üzere iki oksidasyon piki görülürken, kuersetin için ise 340 mV, 725 mV ve 1015 mV'larda anodik pikleri elde edildi. Bununla birlikte, kahve örneklerindeki toplam antioksidan kapasitelerini eşdeğer gallik asit ve kuersetin cinsinden belirlemek için CPE kullanılarak pH 4.0'da her iki maddeye ait yaklaşık 350 mV'de anodik pik akımları tercih edildi. Az kavrulmuş kahve çekirdekleriyle hazırlanan kahve örneklerinde maksimum antioksidan kapasite (TAC) gösterdiği bulundu. Az kavrulmuş kahve çekirdekleri ile hazırlanan Türk kahvesi için TAC değeri, CV yöntemi kullanılarak 17.868 ± 0.281 g/L ve 65.165 ± 1.024 g/L eşdeğer gallik asit ve kersetin olarak hesaplandı. Ayrıca, Filtre kahvesi için, TAC değerleri sırasıyla 32.290 ± 0.839 g/L ve 118.471 ± 3.529 g/L olarak bulundu. Dahası, tüm kahve örneklerindeki TAC değerleri CV'nin yanı sıra DPSV ve SWSV ile analiz edildi. Sonuç olarak, elektrokimyasal yöntemlerle, hızlı, ucuz ve ön işlemlere tabi tutulmadan doğrudan gıda örneklerinde TAC analizi edilmektedir.

Anahtar Kelimeler- Kahve, Antioksidan, Elektrokimya, Voltametri

¹İletişim: sevinc.yildirim@okan.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-57933-2333>)

Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gastronomi Bölümü, İstanbul Okan Üniversitesi, İstanbul Türkiye

^{2*}Sorumlu yazar iletişim: dr.ersindemir@yahoo.com (<https://orcid.org/0000-0001-9180-0609>)

Eczacılık Fakültesi, Analitik Kimya Ana Bilim Dalı, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye

³İletişim: ilkay.gok@okan.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4871-8981>)

Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gastronomi Bölümü, İstanbul Okan Üniversitesi, İstanbul Türkiye

Determination of Total Antioxidant Capacities in Turkish and Filter Coffee Samples by Electrochemical Methods

ABSTRACT

In this study, cyclic (CV), square wave stripping (SWSV) and differential pulse stripping voltammetric (DPSV) methods were used to determine total antioxidant capacity (TAC) in Turkish and Filter coffees brewed with differently roasted coffee beans such as light, medium and dark. Voltammetric parameters were optimized in pH 4.0 Britton-Robinson buffer solution using carbon paste electrode (CPE). Electrochemical behavior of gallic acid and quercetin as standard antioxidant substances were investigated on CPE under optimum conditions by CV, SWSV and DPSV. With all three electrochemical techniques (CV, SWSV, DPSV), two oxidation peaks were observed for gallic acid approximately at 350 mV and 700 mV, while anodic peaks were obtained for quercetin at 340 mV, 725 mV and 1015 mV. However, anodic peak currents at 350 mV for both substances were preferred using CPE to determine total antioxidant capacities in coffee samples in terms of equivalent gallic acid and quercetin. It was found that coffee samples prepared by light roasted coffee beans showed maximum antioxidant capacity (TAC). TAC values for Turkish coffee prepared with less roasted coffee beans were calculated as 17.868 ± 0.281 g/L and 65.165 ± 1.024 g/L equivalent gallic acid and quercetin using CV method. Also, TAC values for filter coffee were 32.290 ± 0.839 g/L and 118.471 ± 3.529 g/L, respectively. Moreover, TAC values in all coffee samples were also analyzed with DPSV and SWSV as well as CV. As a result, TAC analysis is carried out directly on food samples with electrochemical methods, fast, cheap and without pre-treatment.

Keywords- *Coffee, Antioxidant, Electrochemistry, Voltammetry*

I. INTRODUCTION

Antioxidants can be described briefly as substances that stop or negate the adverse effects and formation of free radicals in the human body and foods [1-2]. Oxidative stress caused by free radicals adversely affects human health [3]. The oxidative stress can seriously damage lipids, proteins, enzymes, carbohydrates and DNA. Furthermore, they cause random breaks in DNA chains, damage to enzymes and structural proteins, cancer, neurodegenerative and cardiovascular diseases [3-5]. Therefore, antioxidants are one of the most important food sources for healthcare individuals [6-7]. Both endogenous (natural) and exogenous (artificial) origin antioxidants intake is of great importance for human health [8]. The endogen (natural) antioxidants are produced by the organism, while exogenous antioxidants are herbal sources [9-10]. Antioxidant substances that only organisms can produce are not enough for human health. In addition, the human body needs plant-based antioxidants [11]. For these reasons, antioxidant-rich food materials and their consumption has become the basic need for healthy individuals. Many natural beverages, especially fruits and vegetables, are known to contain antioxidant substances [12]. Coffee, a soft drink, comes at the beginning of these beverages which are contains a large amount antioxidant according due to their rich components [13-15].

Coffee, belonging to the Rubiaceae family and of the genus *Coffea*, was named after Kaffa, a city in Ethiopia [16]. It is one of the oldest soft drinks globally. A near history of 1000 years, coffee is one of the most consumed beverages in the world [17]. The most efficient coffee growing places are tropical regions and maximum coffee bean harvest is obtained in moist and cool regions. Coffee, which is a very delicate and fragile plant species, has now been identified as nearly 100 plant types in the main floor [17]. Coffee contains more than 1000 nutrients and flavors, mainly caffeine, carbohydrates, lipids, vitamins, nitrogenous compounds and micronutrients [18-19]. Many studies are carried out by scientists in coffees, which are quite remarkable in terms of antioxidants [20-22]. Most of these studies are spectrophotometric and chromatographic methods. The antioxidants determinations in coffee samples have been carried out by oxygen radical absorbance capacity (ORAC)[23], total radical-trapping antioxidant parameter (TRAP) [14], trolox equivalent antioxidant capacity method (TEAC) [24], 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity method [25], copper (II) ion reduction based antioxidant capacity method (CUPRAC) [26], iron (ii) ion reducing antioxidant power method (FRAP) [27] and Folin-Ciocalteu reactive (FCR) method [28]. However, cheaper, faster, more precise and reliable new methods are required for antioxidant determinations due to the use of many non-environmentally friendly solvents, long pretreatment and expensive equipment are required from these classical methods. While this is the case, electrochemical methods are successfully used in the determination of numerous drugs, pesticides, amino acids and antioxidant substances [29-31]. Moreover, considering important validation parameters such as time, cost, precision and portable, electrochemical methods show great superiority. In addition, countless new sensors have been constructed nowadays for many trace levels of antioxidant determinations in food samples [32-36].

The antioxidant determinations in differently roasted coffee varieties with the electrochemical methods rarely used in antioxidant determinations were performed for the first time with this study. In this work, the total antioxidant capacities (TAC) of Turkish and Filter coffee samples brewed using roasted coffee beans such as light, medium and dark were investigated voltammetric methods on a carbon paste electrode (CPE). Electrochemical behaviors of gallic acid and quercetin as references antioxidant agents were explored in detail cyclic (CV), square wave stripping (SWSV) and differential pulse stripping (DPSV) voltammetric methods in pH 4.0 Britton-Robinson buffer solutions. TAC values in two coffee samples by prepared with three different beans were calculated in terms of equivalent to gallic acid and quercetin by using CV, SWSV and DPSV methods on CPE. Consequently, TAC values in coffee samples were successfully analyzed using fast, economical and environmentally friendly voltammetric methods. Therefore, novel analytical methods have been developed for antioxidant determinations in coffee samples and contribution of this manuscript will be made to the literature in terms of determination TAC in coffee sample.

II. EXPERIMENT

A. Apparatus

All data were collected by using Vertex[®]One (Ivium) electrochemical analyzer combined with a solid electrode cell stand. This system consists of three electrodes such as reference (Ag/AgCl; BASi, MF-2052), counter (platinum wire; BASi, MW-1032). and working electrodes (Carbon paste electrode (CPE); BASi MF-2010). For the determination of antioxidant in coffee, cyclic voltammetry (CV), differential pulse stripping voltammetry (DPSV) and square wave stripping voltammetry (SWSV) methods were applied on CPE in pH 4.0 Britton-Robinson (B-R) buffer solutions. Mettler Toledo brand pH meter with an accuracy of ± 0.05 .

B. Reagents

Gallic acid and quercetin were obtained from Aldrich-Sigma as analytical standard. The stock solutions of gallic acid and quercetin were prepared as a concentration of 500 mg/L by water and ethanol, respectively. Britton Robinson buffer solution used for support electrolyte was prepared with acetic acid, ortho-phosphoric and boric acid to be 0.04 M. To adjust the buffer to pH 4.0, 2.0 M NaOH or 2.0 M HCl solutions were preferred. Distilled water was used in all processes such as solution preparation and washing.

C. Preparation of working electrode

In the construction of carbon paste electrode (CPE) as an indicator electrode, 70% graphite powder ($<150 \mu\text{m}$) by mass was treated with 30% mineral oil. These two mixtures were mixed until homogeneous. The formed homogeneous carbon paste was placed in the 3 mm diameter area at BASi-MF 2010 electrode with a syringe. Before using CPE, polishing was applied to the electrode surface with soft sandpaper. Finally, after polishing, the electrode was washed with distilled water and dried at room temperature.

D. Process preparation of coffee samples

All coffee beans were obtained from the commercial coffee producer company. Coffee beans were roasted light, medium and dark at three different temperatures. Filter and Turkish coffees are ground according to the brewing type. For Turkish coffee samples, 7.0 grams of finely weighed coffee beans ground into fine powder were obtained by using the Arzum Okka machine. Brewed Turkish coffees were cooled at room temperature and centrifuged for 5 minutes. The coffee beans used in making filter coffee were weighed precisely as 7.0 grams as in Turkish coffee. Three types of filter coffee samples were obtained using SINBO SCM 2938 machine. The coffee samples were then cooled to room temperature and centrifuged at 3000 rpm for 5 minutes. All coffee samples were stored at -20°C in the freezer when not in use.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. Cyclic Voltammetry

Firstly, the electrochemical behavior of gallic acid and quercetin at 2 mg/L was examined with a carbon paste electrode (CPE) in a pH 4.0 Britton-Robinson buffer solution. Cyclic voltammograms were obtained for these standard antioxidant compounds between -200 and $+1400$ mV at a scanning rate of 100 mV/s (Figure 1). Gallic acid exhibited two anodic peaks at 360 mV and 727 mV by CV. For the quercetin, three oxidation peaks were observed, 350 mV, 735 mV and 1025 mV on CPE in pH 4.0. In the cathodic scanning, no reduction peak was obtained for both items. Therefore, it can be said that it has an irreversible electrode reaction for both substances. In addition, predominant anodic peak currents of approximately 350 mV for both substances were taken as reference for the antioxidant determinations in coffee samples ((pH 4.0 BR buffer solution, scan rate = 100 mV/s, CPE).

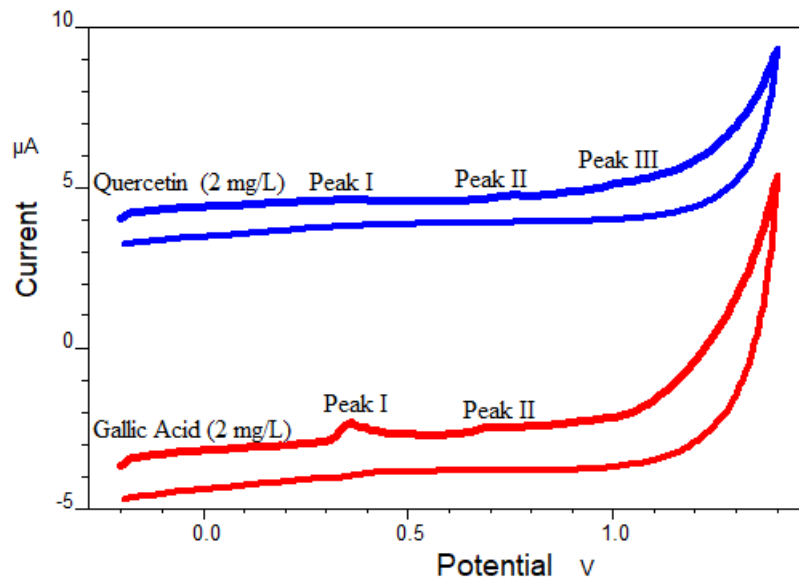


Figure 1. Cyclic voltammograms for the gallic acid and quercetin (pH 4.0 BR buffer solution, scan rate = 100 mV/s)

CV measurements for the Turkish and Filter coffee samples brewed with different roasted beans were taken under optimum conditions determined for reference antioxidant substances on CPE in pH 4.0 BR buffer solution (Figure 2).

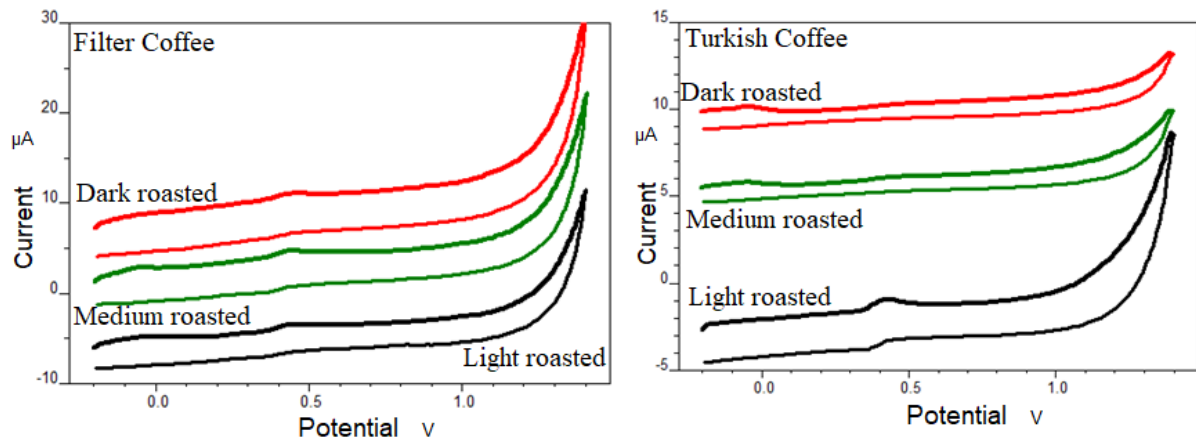


Figure 2. Cyclic voltammograms of Turkish and Filter Coffee samples prepared with different coffee beans (pH 4.0 BR buffer solution, scan rate = 100 mV/s, CPE)

According to the results of the CV, it has been found that it contains the most antioxidant capacity (TAC) in Turkish and Filter coffees prepared with low roasted coffee beans (Table 1). For Turkish coffee, the TAC in terms equivalent of gallic acid and quercetin was as 17.868 ± 0.281 and 65.165 ± 1.024 , respectively. These values for filter coffee were found as 13.290 ± 0.419 and 48.471 ± 1.529 . According to the method of roasting, there was a significant decrease in the amount of antioxidants in both coffees prepared with medium and dark coffee beans.

Table 1. Total TAC values as equivalent gallic acid and quercetin by CV for Turkish and Filter coffee samples, n = 3.

Coffee Bean	Equivalent Gallic Acid (g/L)		Equivalent Quercetin (g/L)	
	Brewing technique		Brewing technique	
	Turkish coffee	Filter coffee	Turkish coffee	Filter coffee
Light roasted	17.868±0.281	32.290±0.839	65.165±1.024	118.471±3.529
Medium roasted	0.997±0.019	8.880±0.226	3.635±0.071	32.389±0.824
Dark roasted	---	0.580±0.012	---	2.106±0.048

B. Square Wave Stripping Voltammetry

Square wave stripping voltammetry (SWSV) is the most frequently used and highly sensitive, selective and fast method among electrochemical methods has been used in qualitative and quantitative analysis of many electro-active analytes. Optimal experimental conditions of SWSV, another analytical chemistry method which is more sensitive, selective and precision were determined for the determination of gallic acid and quercetin (Table 2).

Table 2. Optimum module parameters of SWSV technique on carbon paste electrode (CPE)

Parameters	Optimum Values
Pulse Amplitude (ΔE)	50 mV
Frequency (f)	100 Hz
Step Potential (ΔE_b)	5 mV
Accumulation Potential (E_b)	0 mV
Accumulation Time (t_b)	30 s
Support Electrolyte	pH 4.0 Britton-Robinson buffer

Two oxidation peaks at 350 mV and 675 mV were observed for 0.5 mg/L gallic acid on carbon paste electrode (CPE) under experimental conditions of SWSV (Figure 3). For the quercetin, three anodic peaks were obtained at 350 mV, 735 mV and 1020 mV in pH 4.0 Britton-Robinson buffer solutions on CPE. However, since the density of anodic peaks at 675 mV for gallic acid and 735 mV and 1025 mV for quercetin is very low, the peak currents at 350 mV were used when calculating the total antioxidant capacity (TAC) as equivalent gallic acid and quercetin in coffee samples.

Table 3. Total TAC values as equivalent gallic acid and quercetin by SWSV for Turkish and Filter coffee samples, n = 3.

Coffee Bean	Equivalent Gallic Acid (g/L)		Equivalent Quercetin (g/L)	
	Brewing technique		Brewing technique	
	Turkish coffee	Filter coffee	Turkish coffee	Filter coffee
Light roasted	40.143±1.143	92.869±2.613	19.580±0.558	45.298±1.274
Medium roasted	7.254±0.285	42.006±1.757	3.538±0.139	20.489±0.857
Dark roasted	1.519±0.019	14.072±0.446	0.741±0.009	6.864±0.218

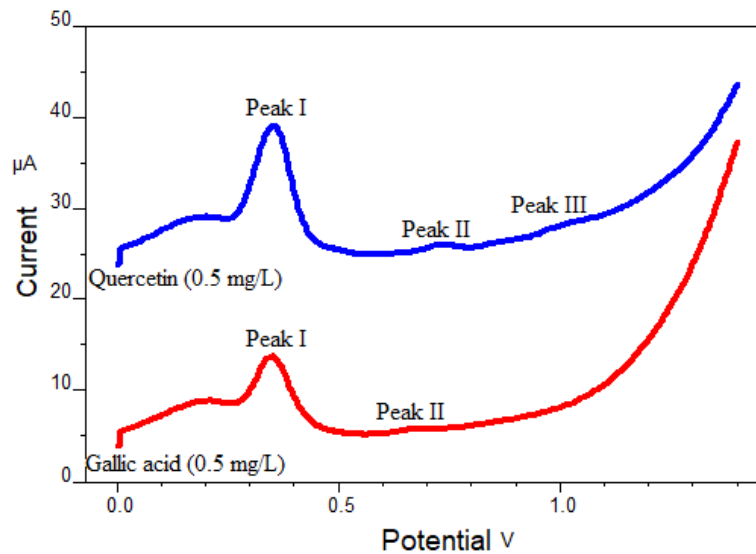


Figure 3. SWS voltammograms for the gallic acid and quercetin (CPE, pH 4.0 BR buffer solution, $t_b = 30$ s, $E_b = 0$ mV, $\Delta E = 50$ mV, $\Delta E_b = 5$ mV ve $f = 100$ Hz)

SWS voltammograms of Turkish and Filter coffee samples brewed with different roasted beans under SWSV operating conditions for the standard antioxidant compounds as gallic acid and quercetin were taken on CPE in pH 4.0 BR buffer solution (Figure 4). According to the results of the SWSV, it has been found that it contains the most antioxidant capacity (TAC) in Turkish and Filter coffees prepared with low roasted coffee beans (Table 3). For Turkish coffee, the TAC in terms equivalent of gallic acid and quercetin was as 40.143 ± 1.143 and 19.580 ± 0.558 , respectively. These values for filter coffee were found as 92.869 ± 2.613 and 45.298 ± 1.274 . According to the method of roasting, there was a significant decrease in the amount of antioxidants in both coffees prepared with medium and dark coffee beans. In addition, while total antioxidant capacity (TAC) cannot be determined by CV in Turkish coffee prepared with dark roasted coffee beans, TAC analysis was performed in same sample with the SWSV method.

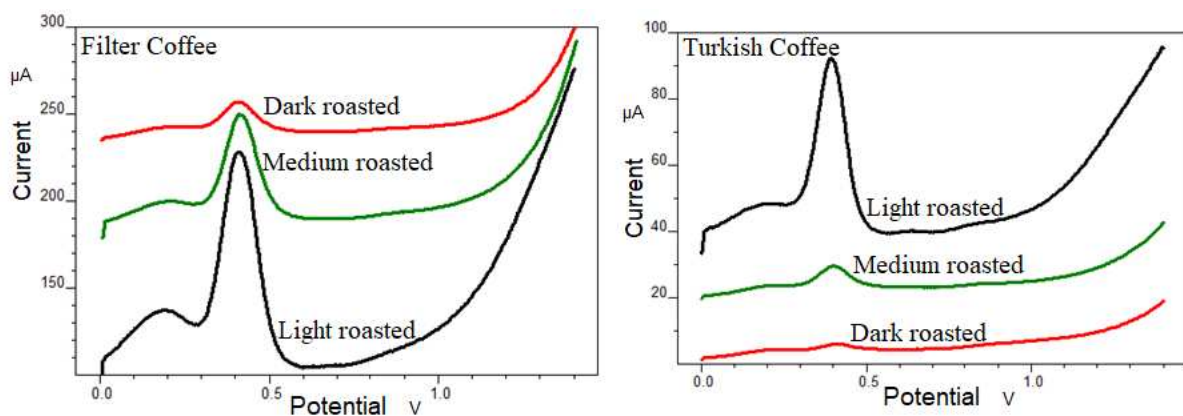


Figure 4. SWS voltammograms for Turkish and Filter Coffee samples prepared with different coffee beans (CPE, $t_b = 30$ s, $E_b = 0$ mV, $\Delta E = 50$ mV, $\Delta E_b = 5$ mV ve $f = 100$ Hz)

C. Differential Pulse Stripping Voltammetry

Differential Pulse Stripping Voltammetry (DPSV) is the most commonly has been used in qualitative and quantitative analysis of many electro-active analytes such as antioxidant, drug, pesticide and heavy metal etc. Due to the fact that it is very sensitive and the waste current (noise) is very low, the DPSV technique makes it possible to analyze even many trace materials at nano–molar level. For these reasons, the DPSV technique has attracted great interest from scientists. It was one of the first preferred techniques among electrochemical analysis methods. Here, optimal experimental conditions of DPSV were initially assigned for the determination of Gallic acid and Quercetin on CPE in pH 4.0 buffer solutions (Table 4).

Table 4. Optimum module parameters of DPSV technique on carbon paste electrode (CPE)

Parameters	Optimum Values
Pulse Amplitude (ΔE)	50 mV
Pulse period (E_t)	10 ms
Scan rate	50 mV/s
Step Potential (ΔE_b)	5 mV
Accumulation Potential (E_b)	0 mV
Accumulation Time (t_b)	30 s
Support Electrolyte	pH 4.0 Britton-Robinson buffer

DPS voltammograms were collected using CPE in the presence of 5 mg/L standard quercetin and gallic acid under the optimal experimental conditions of DPSV (Figure 6). While for the gallic acid, two anodic peaks at 320 mV and 665 mV were obtained, quercetin exhibited three oxidation peaks at 320 mV, 705 mV and 995 mV on CPE in pH 4.0 Britton-Robinson buffer solutions. However, since the peak currents at 675 mV for gallic acid and 735 mV and 1025 mV for quercetin are very low. So that peak currents for the both agent at 320 mV were used when calculating the total antioxidant capacity (TAC) as equivalent gallic acid and quercetin in coffee samples.

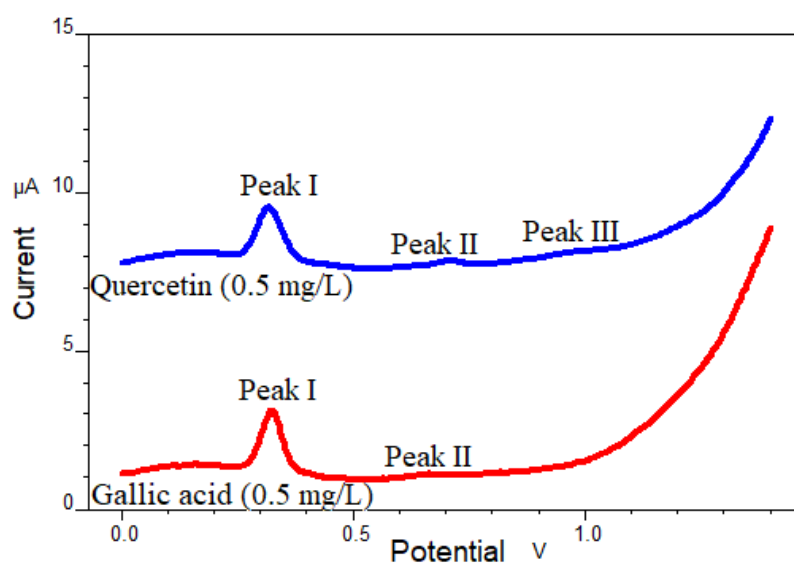


Figure 5. DPS voltammograms for the gallic acid and quercetin (CPE, pH 4.0 BR buffer solution, $t_b = 30$ s, $E_b = 0$ mV, $\Delta E = 50$ mV, $\Delta E_b = 5$ mV ve scan rate = 50 mV/s, $E_t = 10$ ms)

DPS voltammograms of Turkish and Filter coffee samples brewed with different roasted beans under operating conditions for the standard antioxidant compounds as gallic acid and quercetin were taken on CPE in pH 4.0 BR buffer solution (Figure 4). According to the results of the DPSV for the coffee sample, it has been found that it contains the most antioxidant capacity (TAC) in Turkish and Filter coffees prepared with low roasted coffee beans (Table 5). For Turkish coffee, the TAC in terms equivalent of gallic acid and quercetin was as 30.711 ± 0.976 and 36.634 ± 1.166 , respectively. These values for filter coffee were found as 58.993 ± 1.14 and 70.373 ± 1.816 . According to the method of roasting, there was a significant decrease in the amount of antioxidants in both coffees prepared with medium and dark coffee beans. In addition, while total antioxidant capacity (TAC) cannot be determined by CV in Turkish coffee prepared with dark roasted coffee beans, TAC analysis was performed in same sample with the DPSV method.

Table 5. Total TAC values as equivalent gallic acid and quercetin by DPSV for Turkish and Filter coffee samples, n = 3.

Coffee Bean	Equivalent Gallic Acid (g/L)		Equivalent Quercetin (g/L)	
	Brewing technique		Brewing technique	
	Turkish coffee	Filter coffee	Turkish coffee	Filter coffee
Light roasted	30.711 ± 0.976	58.993 ± 1.14	36.634 ± 1.166	70.373 ± 1.816
Medium roasted	1.669 ± 0.064	9.853 ± 0.234	1.991 ± 0.076	11.753 ± 0.280
Dark roasted	0.676 ± 0.018	5.879 ± 0.099	0.807 ± 0.021	7.013 ± 0.118

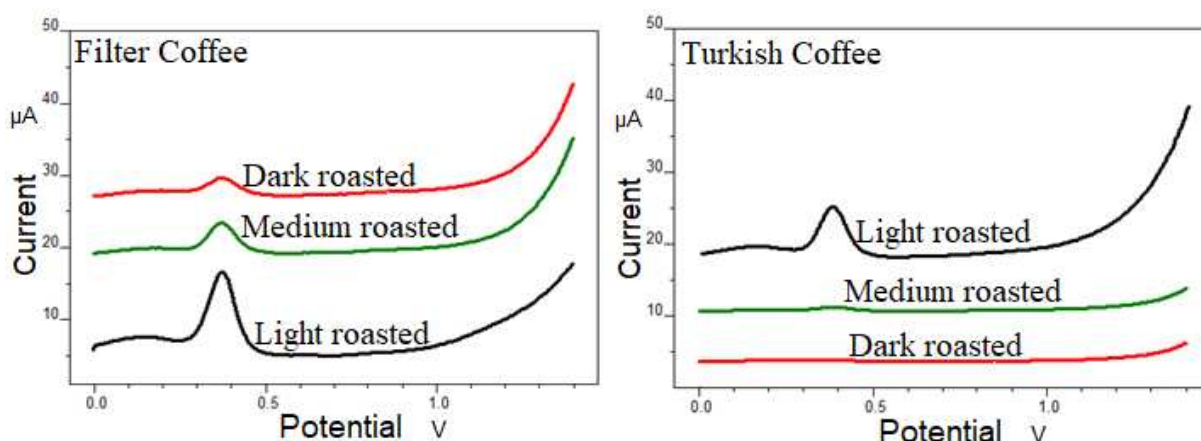


Figure 6. DPS voltammograms for Turkish and Filter Coffee samples prepared with different coffee beans (CPE, $t_b = 30$ s, $E_b = 0$ mV, $\Delta E = 50$ mV, $\Delta E_b = 5$ mV ve scan rate = 50 mV/s, $E_t = 10$ ms)

IV. CONCLUSIONS

In the present study, electrochemical applications such as cyclic (CV), square wave stripping (SWSV) and differential pulse stripping (DPSV) voltammetric techniques for determination of total antioxidant capacity (TAC) in Turkish and Filter coffee samples were carried using carbon paste electrode (CPE). The operating models of SWSV and DPSV were evaluated for the gallic acid and quercetin as reference antioxidant agents in pH 4.0 Britton-Robinson buffer solutions. The anodic peak for the both agents at 350 mV was taken a reference point for the analysis of TAC. TAC values were successfully calculated as equivalent gallic acid and quercetin in Turkish and Filter coffee samples prepared with different beans such as light, medium and dark by using all the recommended electrochemical methods (CV, SWSV and DPSV). The maximum antioxidant capacity in coffee samples was found by prepared the light roasted beans for the two coffee types. Consequently, electrochemical

methods such as CV, SWSV and DPSV can be alternative to evaluate TAC in food samples to conventional analytical methods due to they are fast, reliable, fully validated and without any pretreatment.

ACKNOWLEDGMENT

This study is performed as a multidisciplinary Master of Science thesis study of Sevinç Yıldırım with the advisor Ilkay Gok and co-advisor Ersin Demir. Also, we would like to thank Kurukahveci Mehmet Efendi Mahdumları Ltd. Şti. for purchasing chemicals and some equipment used during analysis, Arzum Elektrikli Ev Aletleri San. ve Tic. A.Ş. for donation of Turkish coffee machine and Gastro Coffee Roastery Ltd. Şti. for preparation and donation of hand crafted specialty coffee samples and providing espresso coffee machine.

REFERENCES

- [1] Cemal, K., & Recep P. (2015). Doğal Antioksidanların Sınıflandırılması ve İnsan Sağlığına Etkileri. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 3(4), 226-234.
- [2] Michael, L., Klaudia, J., Patrik, P., Kamil, K., Kamil, M. & Marian V. (2018). Free Radicals and Antioxidants in Human Disease. *Nutritional Antioxidant Therapies: Treatments and Perspectives*. Springer,
- [3] Helmut, S., Carsten, B. & Dean P. J. (2017). Oxidative Stress. *Annual Review of Biochemistry*, 86, 715-748.
- [4] Helmut, S. & Enrique, C. (1985). Oxidative stress: damage to intact cells and organs. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 311, 617-631.
- [5] Enrique, C. & Kelvin, K. A. D. (2000). Mitochondrial Free Radical Generation, Oxidative Stress, and Aging. *Free Radical Biology & Medicine*, 29 (3/4), 222-230.
- [6] Hatice, T., İlhami, G., Ercan, Bursal, Ahmet, C. G., Saleh, H. A. & Ekrem, K. (2017). Antioxidant Activity and Phenolic Compounds of Ginger (*Zingiber Officinale* Rosc.) Determined by HPLC-MS/MS. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 556-566.
- [7] Geir, B. & Salvatore, C. (2017). Role of Oxidative Stress and Antioxidants in Daily Nutrition and Human Health. *Nutrition*, 33, 311-321.
- [8] Ergul, B. K. (2016). The Importance of Antioxidants Which Play the Role in Cellular Response Against Oxidative/Nitrosative Stress: Current State. *Nutrition Journal*, 15, 17.
- [9] Lien, A. P. H., Hua, H. & Chuong, P. H. (2008). Free Radicals, Antioxidants in Disease and Health. *International Journal of Biomedical Science*, 4(2), 89-96.
- [10] Emad S. & Ghada, M. A. (2018). Antioxidants in Foods and Its Applications. IntechOpen, London, United Kingdom.
- [11] Lobo, V., Patil, A., Phatak, A. & Chandra, A. (2010). Free Radicals, Antioxidants and Functional Foods: Impact on Human Health. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 118-126.
- [12] A. R. Sen & P.K. Mandal, (2017). Use of Natural Antioxidants in Muscle Foods and their Benefits in Human Health: An Overview. *International Journal of Meat Science*, 7(1), 1-5.
- [13] Drazenka, K. & Arijana, B. (2014). Antioxidants in Coffee. *Processing and Impact on Antioxidants in Beverages*, 25-32
- [14] Pawel, G., Krzysztof, D., Aleksander, S., Jolanta, T. G., Michal, M. & Krzysztof, P. (2016). Contribution of phenolic acids isolated from green and roasted boiled-type coffee brews to total coffee antioxidant capacity. *European Food Research and Technology*, 242, 641-653.

- [15] Daniel, B. R., Antonio, C., Jose, C. C., Amparo, A. T. & Jolanta, T. G. (2017). Evaluation of the Antioxidant Capacity, Furan Compounds and Cytoprotective/Cytotoxic Effects upon Caco-2 Cells of Commercial Colombian Coffee. *Food Chemistry*, 219, 364–372.
- [16] Birsen, Y., Nilüfer, A. T. & Saniye, S. (2017). Turkish cultural heritage: a cup of coffee. *Journal of Ethnic Foods*, 4(4), 213–220.
- [17] Solange, I. M., Ercilia, M. S. M., Silvia, M. & Jose, A. T. (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food and Bioprocess Technology*, (4), Article number: 661.
- [18] Jane, V. H. & Balz, F. (2006). Coffee and Health: A Review of Recent Human Research. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46, 101–123.
- [19] Adriana F. (2018). Nutritional and health effects of coffee. Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK.
- [20] Prasun, B., Amit, K. G. & Chandrasekhar, G. (2012). Recent Developments on Polyphenol–Protein Interactions: Effects on Tea And Coffee Taste, Antioxidant Properties and The Digestive System. *Food & Function*, 6(3), 592–605.
- [21] Alessia, P., Antonio, Z., Roberto, L., Giancarlo, M. & Rita, P. (2013). Recovery of Natural Antioxidants from Spent Coffee Grounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(17), 4162–4168.
- [22] Tena, N., Drazenka, K., Ana, B. C., Dunja, H. & Maja, B. (2012). Bioactive Composition and Antioxidant Potential of Different Commonly Consumed Coffee Brews Affected by Their Preparation Technique and Milk Addition. *Food Chemistry*, 134(4), 1870–1877.
- [23] Telma, A. F. C., Marcela, P. M., Thaise, P. M., Daniela, M. O., Marcelo, M. R., Cibelem, I. B., Carmen, G.C. V., Bruno, M. M., Daniela, T., Vera, L. T., Luiz, A. M. C., & Elizabeth, A. F. S. T. (2012). Medium Light and Medium Roast Paper-Filtered Coffee Increased Antioxidant Capacity in Healthy Volunteers: Results of a Randomized Trial. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67, 277–282.
- [24] Tolgahan, K. & Vural, G. (2016). Effect of Roasting and Brewing On The Antioxidant Capacity of Espresso Brews Determined by the QUENCHER Procedure. *Food Research International*, 89(2), 976–981.
- [25] Irda, F. & Annisa, K. R. (2016). Antioxidant Activities of Arabica Green Coffee From Three Regions Using ABTS And DPPH Assays. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 9(2), 189-193.
- [26] Magdalena, J.S., Aleksandra, S., Krystyna, P. & Maria, P. D. P. (2016). Chlorogenic Acids, Caffeine Content and Antioxidant Properties of Green Coffee Extracts: Influence of Green Coffee Bean Preparation. *European Food Research and Technology*, 242, 1403–1409.
- [27] Vignoli, J. A., Bassoli, D. G. & Benassi, M. T. (2011). Antioxidant Activity, Polyphenols, Caffeine and Melanoidins in Soluble Coffee: The Influence of Processing Conditions and Raw Material. *Food Chemistry*, 124, 863–868.
- [28] Luis, M. M., Marcela, A. S., Salette, R., Jose, L. F. C. L. & Antonio, O. S. S. R. (2006). Automatic Method for the Determination of Folin–Ciocalteu Reducing Capacity in Food Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(15), 5241–5246.
- [29] Ersin D. (2019). A Simple and Sensitive Square Wave Stripping Pathway for the Analysis of Desmedipham Herbicide by Modified Carbon Paste Electrode Based on Hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Nanoparticles). *Electroanalysis*, 31(8), 1545–1553.
- [30] Yongnian, N., Ping, Q. & Serge, K. (2005) Simultaneous Voltammetric Determination of Four Carbamate Pesticides with the Use of Chemometrics. *Analytica Chimica Acta*, 537(1-2), 321-330.

- [31] Burcu, D. T., Sibel, A. O. & Bengi U. (2010). The Analytical Applications of Square Wave Voltammetry on Pharmaceutical Analysis. *The Open Chemical and Biomedical Methods Journal*, 3, 56-73.
- [32] Ersin, D., Ahmet, S., Franck, M. T. K., Erhan, D. & Hassan, Y. A. E. (2020). Electrochemical Evaluation of the Total Antioxidant Capacity of Yam Food Samples on a Polyglycine-Glassy Carbon Modified Electrode. *Current Analytical Chemistry*, 16(2), 176-183.
- [33] Ersin, D (2019). Sensitive and Selective Pathway of Total Antioxidant Capacity in Commercially Lemon, Watermelon and Mango-pineapple Cold Teas by Square Wave Adsorptive Stripping Voltammetry. *Gazi University Journal of Science*, 32(4), 1123 – 1136.
- [34] Ahmet, S., Tamara, B., Erhan, D. & Mahmut, D. (2019). Direct and Fast Electrochemical Determination of Catechin in Tea Extracts using SWCNT□Subphthalocyanine Hybrid Material. *Electroanalysis*, 31(9), 1697 – 1707.
- [35] Ahmet, S., Alirez, K., Erhan, D. & Esmail, D. (2020). Ultrasensitive Detection of Rutin Antioxidant Through a Magnetic Micro-Mesoporous Graphitized Carbon Wrapped Co Nanoarchitecture. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 312, 127939.
- [36] Ahmet, S., Baybars, K., Erhan, D., Tamara, B. & Mahmut, D. (2018). 3D SWCNTs-Coumarin Hybrid Material for Ultra-Sensitive Determination of Quercetin Antioxidant Capacity. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 267, 165-173.

Araştırma Makalesi – Research Article

Uçaklarda Kullanım Amaçlı Interleaved Süper Lift Luo Dönüştürücü Tasarımı

Gürhan ERTAŞGIN^{1*}

Geliş / Received: 22/05/2020

Revize / Revised: 12/06/2020

Kabul / Accepted: 12/06/2020

ÖZ

Bu çalışmanın temel amacı, havacılık sistemleri için mevcut topolojilere kıyasla daha düşük kayıplar elde etmek için 28V batarya ile çalışan 1,2kW interleaved super lift Luo dönüştürücü tasarlamaktır. Uygulanan devrenin basit yapısı nedeniyle kayıplarda azalma amaçlanmaktadır. F-22 gibi askeri uçaklar ve Boeing 787 gibi sivil uçaklar batarya sistemleri için 270V DC kullanılmaktadırlar. Bu nedenle, 270V DC standardının uygun olduğu yeni hava araçları eski gerilim standartlarıyla çalışmayabilir. 28'den 270 volta yükseltme hem eski hem de yeni sistemler için iyi bir çözüm olarak düşünülmektedir. Bu nedenle, eski havacılık teknolojisini yeni sistemlere uyarlamak için 28 voltu 270 volta yükselten bir interleaved süper lift Luo dönüştürücü tasarımı önerilmiştir. Silisyum karbür MOSFET tabanlı interleaved süper lift Luo dönüştürücünün çift döngü PI kontrolör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu makale, alanındaki gelişmelere uyum sağlamak amacıyla uçaklarda kullanım için interleaved süper lift Luo dönüştürücü tasarımının prensiplerini göstermektedir ve konsept simülasyonlar kullanılarak doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler- Uçak, DA-DA güç dönüşümü, Darbe genişlik modülasyonu

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: gurhan.ertasgin@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9264-5353>)
Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 11230, Bilecik, Türkiye

An Interleaved Super Lift Luo Converter Design for Aircraft Applications

ABSTRACT

The main purpose of this study is to adapt a 28V battery powered super Lift Luo converter topology to the aircraft systems by adding the interleaving feature. It is aimed to have better efficiency compared to conventional designs. F-22 military aircraft and civil aircraft such as Boeing 787 use 270V DC for battery systems. New standards for the avionics using 270V DC may not apply to older avionics. Therefore, conversion from 28V to 270V can be an advantageous application for both new and old systems. As a result, an interleaved super lift Luo converter has been designed to increase the voltage from 28V to 270V with a quite high conversion ratio so existing old systems stay up-to-date due to developments. Analysis of this new interleaved super lift Luo converter was carried out with a double loop PI controller. The topology uses silicon carbide MOSFETs as high-frequency switches. This paper shows the design philosophy of the converter and proves the system with simulations.

Keywords- Aircraft, DC-DC power converters, Pulse width modulation

I. INTRODUCTION

Developments in the aviation industry show that pneumatic and hydraulic applications are replaced by electrical equivalents [1-2]. Avionic systems using 270V DC have many advantages over 115V AC bus. Examples include reducing transmission losses and reducing energy storage element volumes and weight. The required power is obtained by the avionics conveniently due to 270V DC. Also, it can provide 115V AC voltage without any difficulty owing to its simple inverter concept. However, aircrafts that have older technology, may not be compatible with 270V DC bus (see Figure 1).

After the Second World War, DC generators were replaced with constant frequency (CF) generators. Then, turbojet fighter jets were supported with constant speed drives (CSD) to reduce engine speed to a value which can be used in CF generators. Following the development of solid-state switching technology, unreliable CSD systems were removed and generators were replaced with variable speed / constant frequency (VSCF) systems which are commonly used in F-18 fighter jets and Boeing 737-500 airliners [2]. The electrical architecture of a conventional aircraft (left) and a more electric aircraft (right) systems are shown in Figure 1.

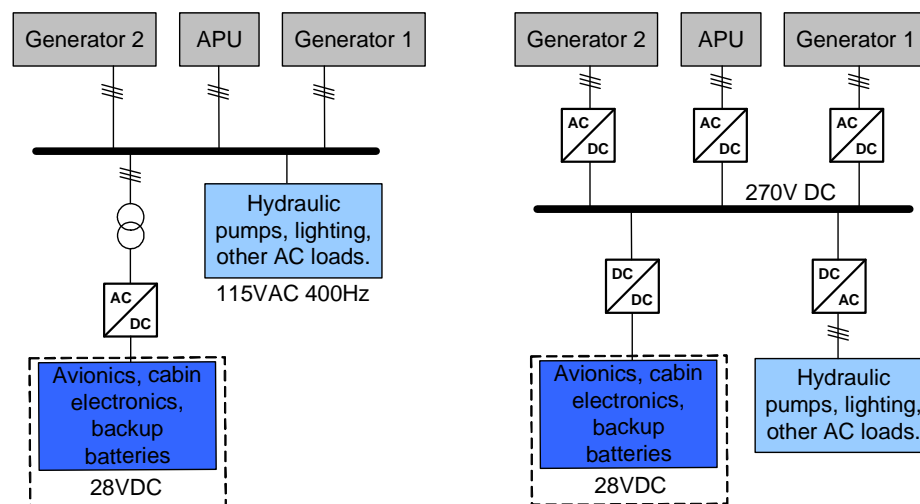


Figure 1. The power system architecture of a generic aircraft (left) and a more electric aircraft system (right)

Parallel to the ongoing developments, 270V DC standard was proposed for aviation usage (MIL-STD-704B [3]). The main aim of this voltage level was to obtain higher power density for new aircrafts. Therefore, it was foreseen that replacing 115V AC voltage with 270V DC voltage can increase stealth ability and enable design changes for future aircrafts. It was well known that DC is less detectable than AC as 270V DC systems have been employed in submarines since the beginning of the 20th century. Following the stealth and design concerns in military aircraft production, 270V DC system started to take place in F-22 stealth aircraft followed by F-35 JSF project [4]. In the meantime, more electric aircraft (MEA) started to take place in the aircraft industry [5-6] as it has cost benefits and allows integration of key subsystems. The developments cause the design of avionic systems which require 270V DC to operate. To offer some potential benefits avionics need MEA hence 270V DC especially for manned and large aircraft.

A boost converter is a good candidate to enable the technology to convert the aircraft which is produced with the previous 115V AC bus technology. There are applications at the same voltage level in the market despite their low power capability [3-6]. This situation reveals the need for high power applications. Some researchers are studied non-isolated boost converter for aircraft applications [7]. The design uses six interleaved boost converter with 97% efficiency for 20kW output. However, using a boost converter with a high conversion rate can increase stress in semiconductors and make it difficult to control. A half-bridge DC-DC converter is considered for MEA applications [8]. This topology could cause over-voltage issues at the output and complex

control. A bi-directional 28V-270V buck-boost converter is proposed as low side voltage 28V and high side voltage 270V [9] for high power. The system uses some buck-boost power modules to obtain 12kW output power. This increases modularity and makes the system reliable. There are interesting converter studies such as dual active bridge topology (DAB) [10] to reach 270V DC voltage. This design uses wide-bandgap silicon carbide (SiC) semiconductors to increase efficiency and robustness [11]. Since these semiconductors also have higher switching capabilities, they allow reducing the size of passive elements such as inductors and capacitors and the weight of the system to be reduced in general. Another version of the dual active bridge uses LLC resonant converter for 270V-28V conversion [12]. This topology did not employ SiC semiconductors however obtained 96% efficiency. Utilising wide-bandgap semiconductors is not the only option to improve efficiency however the designed interleaved super lift topology uses SiC MOSFETs to provide a more compact and lightweight solution. To meet the high-power density target of power converters, SiC MOSFET is better choice for its silicone (Si) counterpart to be considered for such applications as they operate at much higher voltages, frequencies and temperatures. Requirements for both 28V and 270V DC systems are given in Table 1. Limits for transient voltage are available in the MIL-STD- 704 w / CHANGE 1 [13] standards document.

Table 1. Standards for various voltages [13]

	Limits	
	28V DC System	270V DC System
Steady State	22.0 to 29.0V	250.0 to 280.0V
Distortion Factor	0.035 max.	0.015 max.
Ripple Amplitude	1.5V max.	6.0V max.

In order to cope with the increase in electrical energy requirement, the super lift Luo converter has been designed to support new high voltage distribution systems applications and to keep the old aircraft system active.

II. METHODS

A. Super Lift Luo Converter

The main purpose of this converters is providing a higher output voltage than the input voltage. This voltage gain can also be achieved using a transformer. However, to fulfil certain requirements of aircraft applications, transformers are avoided as they are bulky and they reduce the efficiency significantly. Main requirements for a converter which will be applied on aircraft are must-have abilities as lightweight, simple circuitry, simplicity and robustness. Therefore, application of a super lift Luo converter is selected as voltage lifting topology. This voltage boosting technique, in other words, increasing the voltage with a high conversion rate, has been successfully applied in DC-DC converters. The output voltage of the converter generally increases arithmetically. However, the super lift Luo converter has a unique approach. Super lift technique allows a geometric increase of voltage. This increases the voltage transfer gain tremendously [14]. As a result, this feature allows for lifting the voltage significantly compared to other DC-DC converters.

Some different super lift Luo converters are introduced in the literature [15]. The converter will be used in this study is the super lift Luo converter with positive output. Each circuit in the basic series has a switch SW , an inductor L_1 , two capacitors as C_1 , C_2 and two diodes as D_1 , D_2 as seen in Figure 2. Continuous conduction mode is utilized for this converter. The main super lift converter circuit and its equivalents during turn-on and turn-off are shown in Figure 2 below.

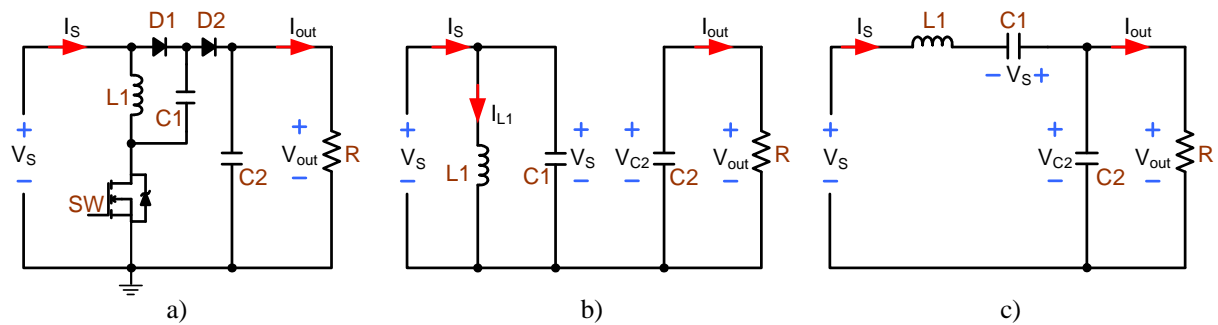


Figure 2. a) Circuit schematic, b) turn-on and c) turn-off equivalent schematics

During the switch-on period dT , input voltage (V_s) charges the capacitor C_1 and increases the inductor current i_{L1} . During the turn-off period $(1-d)T$ the current i_{L1} decreases with voltage $-(V_{out} - 2V_s)$. Then, the inductor current ripple (Δi_{L1}) is calculated as follows.

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_s}{L_1} dT = \frac{V_{out} - 2V_s}{L_1} (1-d)T \quad (1)$$

$$V_{out} = \frac{2-d}{1-d} V_s \quad (2)$$

where V_s is the converter input voltage, d is the duty cycle and T is the period. Figure 3 shows the gain (G) as a function of the duty cycle. Assuming an ideal system with no power loss, power and the transfer gain can be calculated as;

$$V_s \times I_s = V_{out} \times I_{out}, \quad G = \frac{V_{out}}{V_s} = \frac{2-d}{1-d} \quad (3)$$

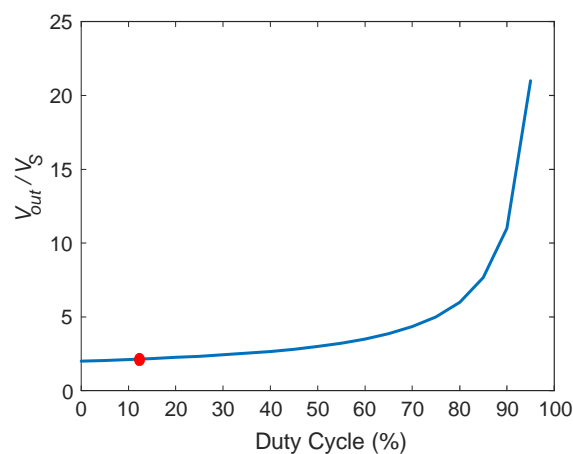


Figure 3. Gain variation as a function of the duty cycle for the proposed converter

During switch on-time, input current i_s is equal to $(i_{L1} + i_{C1})$, at switch-off time i_s , i_{L1} and i_{C1} have the same current value. The average charge at C_1 should remain the same in steady-state. The relationships are as follows.

$$i_{S_OFF} = i_{L1_OFF} = i_{C1_OFF} \quad i_{S_ON} = i_{L1_ON} + i_{C1_ON} \quad dTi_{C1_ON} = (1-d)Ti_{C1_OFF} \quad (4)$$

B. Interleaved Super Lift Luo Converter

Interleaved converter design is mainly based on the idea of dividing the current drawn from the source to n lines. By splitting the branch current, peak current values can be reduced as shown in Figure 7. The stress on the DC grid or battery caused by the drawn current peaks can be reduced using this method [16]. As a result, the lifetime of the battery can be extended, and grid quality can have a less negative effect. Figure 4 illustrates the block diagram of the interleaved converter. Here, two super lift Luo converters are used as interleaved topology.

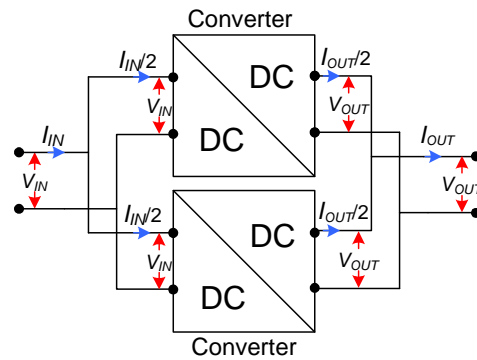


Figure 4. Block diagram of super lift Luo converter

The required current can be simply increased and output voltage ripple can be reduced by increasing the number of branches. Current stress in the semiconductors and other components can be distributed evenly by using a modulation with a shift between branches, and the ripple frequency of output current value is multiplied with the number of branches. The increment at the frequency will provide a smaller output capacitor choice as can be calculated using Equation 5.

$$C = \frac{I_{out} \times d}{\Delta V_C \times f_{sw}} \quad (5)$$

where C is capacitor value, d is the duty cycle, ΔV_C is allowable voltage ripple and f_{sw} is switching frequency. If all variables remain constant and f_{sw} increases, the capacitor value can be smaller.

As efficiency is a critical point for converters, interleaved converters improve system efficiency by reducing ripple voltage and allowing higher switching frequency [17]. If switching frequency is selected for an interleaved system as f_{sw} , for a non-interleaved system with the double branch, the switching frequency must be $2f_{sw}$. Efficiency improvements can be done using wide-bandgap semiconductors. Therefore, SiC MOSFETs are a suitable selection for this topology. They allow higher switching frequencies and reduce the size of components, i.e., capacitors, inductors, transformers and filters. The proposed topology voltage level enables to use of MOSFETs instead of IGBTs which have higher switching losses.

III. SIMULATION

The simulation of the interleaved super lift Luo converter is done using PSIM and the power circuit is represented below in Figure 5. PSIM is a power electronics simulation software which allows rapid modelling and simulation. Simulation and circuit parameters are tried to be selected in a realistic way based on calculations that comply with MIL-STD-704 standards [13] while ignoring switching losses. Voltage tolerances and ripple agree with the standards. A closed-loop control approach with the PI controller is simulated in this paper. The

Ziegler-Nichols method is employed to determine initial PI values. Then fine-tuning is accomplished for the PI values after adding current feedback.

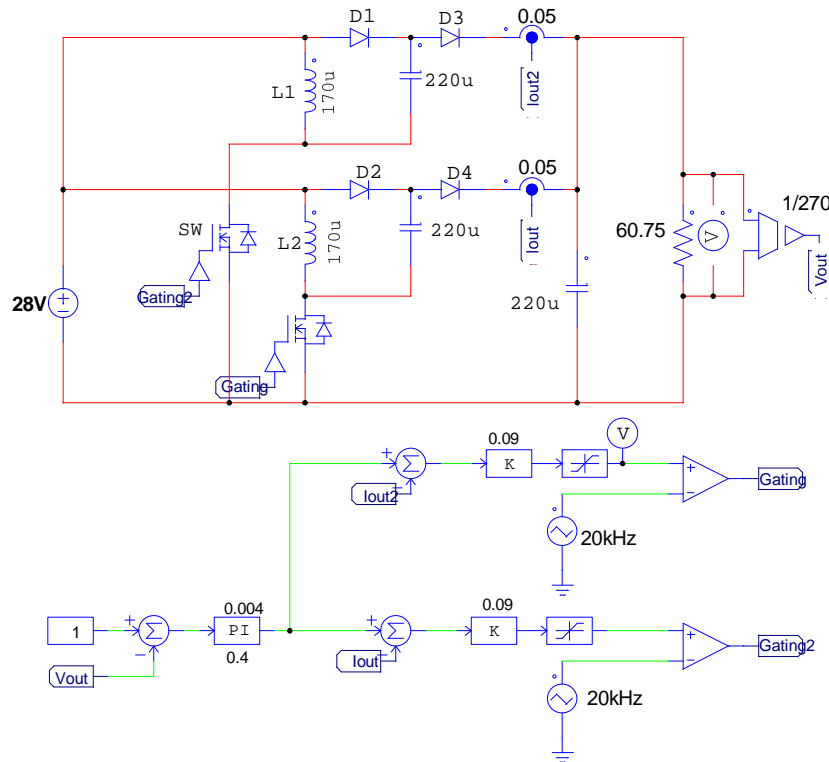


Figure 5. Circuit schematic and control system of the proposed converter

Each DC link inductor in the proposed topology is determined to operate in continuous conduction mode (CCM) according to the 7A peak-to-peak ripple (ΔI) calculation. The output capacitor is also determined to give a maximum voltage ripple of 1%. In order to stay on the safe side in terms of electromagnetic interference (EMI) and audible noise issues, 20kHz switching frequency was determined for each super lift branch. This topology can also be operated in discontinuous conduction mode (DCM) using a smaller inductor value. This operation will require a more complex control system. In this case, the study is only focused on CCM.

Avionics require waveforms with high-quality and extremely stable output voltage. Different approaches regarding control systems can be found in the literature. Applications for the feedback voltage control are split into two categories. One is control of single loop voltage [18-19] and the other is control of double loop voltage [20-21].

Pulse width modulation (PWM) method with hard switching has been used to control the high-frequency SiC MOSFETs. Each signal comes from the controller has a 180-degree difference. At the control system design level, a PI (Proportional-Integrator) controller with current input from the closed loops is used. PI controller system uses proportional and integrator methods to compare a reference signal with the output. In this controller, K values are determined as 0.09, P value as 0.4 and I value as 0.004. The voltage feedback value is divided into 270 and the current feedback value is divided into 500. Since both current and voltage loops are used, the control method is called double-loops. The voltage feedback is taken directly from the load at the output of the converter and the current feedback is directly from the inductor of each interleaved converter. The positive input of the comparator is the control signals of the switches. Negative inputs are 20kHz triangular carrier signals.

Figure 6 shows the output voltage (V_{out}), current (I_{out}) and power (P_{out}) values of the converter. The model complies with the standards by showing good agreement with the values set out in MIL-STD-704 [13]. The system output value settles within 0.2 s to the required value. Also, at the output, current ripples and output ripples are negligibly small. While 28V DC to 270V DC conversion, 4.5A output current is obtained with a total power of 1.2kW.

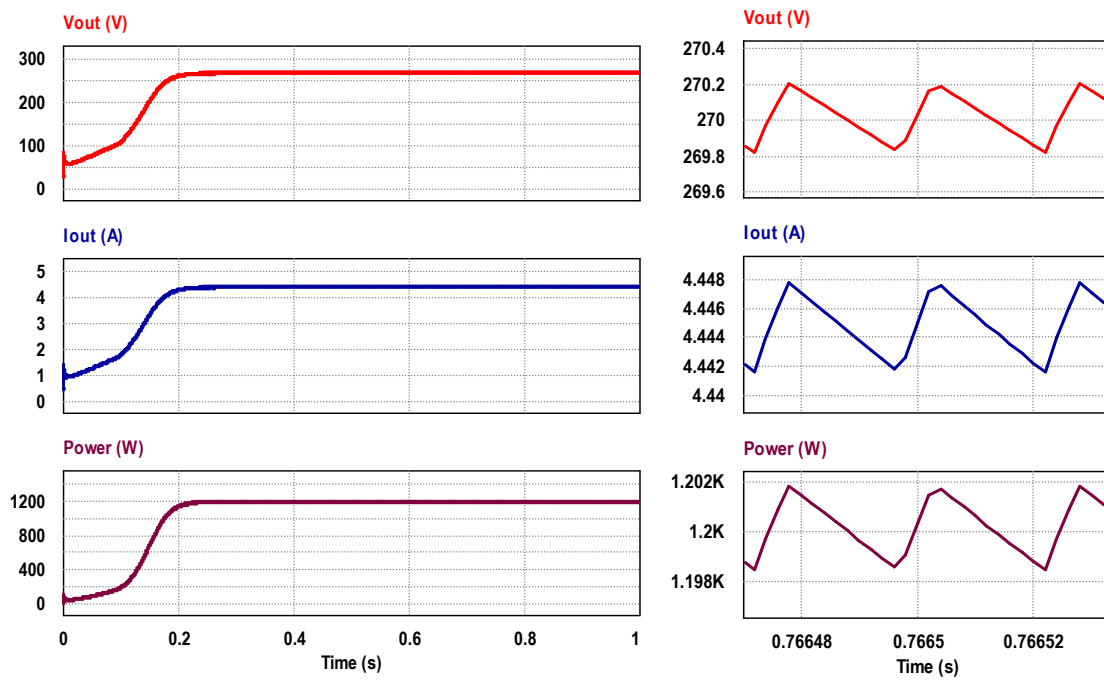


Figure 6. Circuit voltage, current and power output with ripples

The advantages of interleaved architecture were discussed before as high-frequency ripple, low peak to peak ripple and high current capacity due to the divided structure. In Figure 7, the inductor current ripple of each branch is ~ 7 A. Each inductor current has 32% ripple. These fluctuations are halved due to interleaved topology. If the interleaved branches are increased there will be less ripple. It is also important to optimize passive elements in this circuit. Please note that currently all the components are assumed ideal.

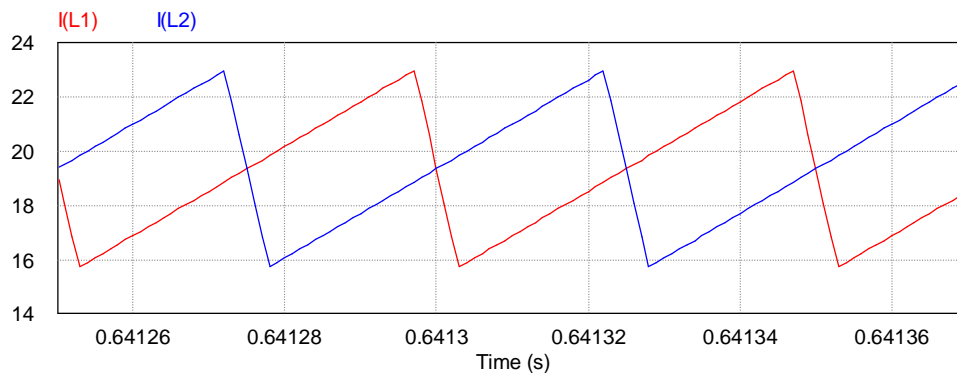


Figure 7. Input inductor current ripples

IV. CONCLUSION

In this study, a 1.2kW interleaved super lift Luo converter for aircraft applications is designed and simulated for retrofit and new avionics applications. The system is designed to have higher power density, better reliability, efficiency and robustness while considering standards.

The designed interleaved topology is an alternative for a different type of topologies for aircraft applications, especially for retrofit applications. The super lift function allows having higher conversion ratio with safer operation. It is also extendible due to its interleaved nature for higher power levels. The interleaved scheme is adapted to super lift Luo converter which has a very high voltage lifting capability. The interleaved approach reduces ripple voltage hence reduces losses. It also reduces the high current stress across the single switch. Additionally, interleaved topology gives a faster transient response when the load changes. These important features are so critical for aircraft applications. This modular approach is good for high power applications.

As wide-bandgap semiconductors are becoming less expensive it is also important to use SiC MOSFETs for this topology to have much higher efficiency, higher power density and better thermal management. SiC MOSFETs permit higher voltage margins as well.

As a result, 270V DC output is observed with promising current and voltage ripple values. Double-loop PI controller works well and modulates the converter to lift the voltage conveniently despite high conversion ratio. Therefore, this design and its variations for different power levels can be good candidates for the retrofit and MEA applications.

REFERENCES

- [1] Rosero J. A., Ortega J. A., Aldabas E. and Romeral L. (2007). Moving towards a more electric aircraft. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 22, 3-9.
- [2] Moir I., Seabridge A. (2011). *Aircraft systems: mechanical, electrical, and avionics subsystems integration 3rd ed.* John Wiley & Sons Inc.
- [3] Military Standards. (1975). *Aircraft Electric Power Characteristics, MIL-STD-704B* <http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0700-0799/download.php?spec=MIL-STD-704B.021342.PDF>
- [4] Madonna V., Giangrande P. and Galea M. (2018). Electrical Power Generation in Aircraft: Review, Challenges, and Opportunities. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 4, 646-659.
- [5] Quigley R. E. J. (1993). More Electric Aircraft. *IEEE Proceedings Eighth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition*. 7- 11 March, San Diego, CA, USA, 906-911.
- [6] Weimer J. A. (1993). Electrical power technology for the more electric aircraft. *AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference*. 25-28 October, Fort Worth, TX, USA, 445-450.
- [7] Kreutzer O., Billmann M., Maerz M. and Lange A. (2016). Non-isolating DC/DC Converter for a Fuel Cell Powered Aircraft. *IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference*. 2-4 November. Toulouse, 1-6.
- [8] Clements R. and Jones R. W. (2018). DC-DC convertor design for the 270 volts DC 'More Electric Aircraft'. *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 31 May - 2 June, Wuhan, 1847-1852.
- [9] Rubino L., Guida B., Liccardo F., Marino P. and Cavallo A. (2010). Buck-boost DC/DC converter for aeronautical applications. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*. 4-7 July. Bari, 2690-2695.

- [10] De D., Castellazzi A., Lopez-Arevalo S. and Lamantia A. (2014). SiC MOSFET based avionic power supply. *7th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives*. 8-10 April, Manchester, 1-6.
- [11] Duarte R. R., Ferreira G. F., Dalla Costa M. A. and Alonso J. M. (2017). Performance investigation of silicon and gallium nitride transistors in an integrated double buck-boost LED driver. *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, Cincinnati, 1-5 October, OH, 1-5.
- [12] Chen H., Hao Z., Shao C., Pu C. and Lu B. (2018). Research on 270V/28V aviation bidirectional DC/DC converter. *CSAA/IET International Conference on Aircraft Utility Systems*, 19-22 June, Guiyang, 1-7.
- [13] Military Standards. (2016). Aircraft Electric Power Characteristics, MIL-STD-704F w/CHANGE 1 http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0700-0799/download.php?spec=MIL-STD-704F_CHG-1.055461.pdf
- [14] Shan Z., Liu S. and Luo F. (2012). Investigation of a Super-Lift Luo-Converter used in solar panel system. *China International Conference on Electricity Distribution*, 10-14 September, Shanghai, 1-4.
- [15] Luo, F. L. & Y. Hong (2016). *Advanced DC/DC Converters 2nd ed.* CRC Press, Florida.
- [16] González A., López-Erauskin R., and Gyselinck J. Analysis, modeling, control and operation of an interleaved three-port boost converter for DMPPT systems including PV and storage at module level. *Heliyon*, 5.
- [17] Florides M. (2010). *Interleaved Switching of DC/DC Converters*. MEng Thesis, University of Newcastle Upon Tyne, Newcastle. https://www.researchgate.net/publication/308886975_Interleaved_Switching_of_DCDC_Converters
- [18] Wang X., Loh P. C. and Blaabjerg F. (2017). Stability Analysis and Controller Synthesis for Single-Loop Voltage-Controlled VSIs. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32, 7394-7404.
- [19] Wang X., Li Y. W., Blaabjerg F. and Loh P. C. (2015). Virtual-Impedance-Based Control for Voltage-Source and Current-Source Converters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30, 7019-7037.
- [20] Wang X., Blaabjerg F., Chen Z. and Wu W. (2013). Resonance analysis in parallel voltage-controlled Distributed Generation inverters. *Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*. 17-21 March, Long Beach, CA, 2977-2983.
- [21] Wang X., Blaabjerg F., Loh P.C. (2015). High-performance feedback-type active damping of LCL-filtered voltage source converters. *Energy Conversion Congress and Exposition*. 20-24 September 2015, 2629-2636.

Araştırma Makalesi - Research Article

Sualtı Haberleşmede Çok Yolluluğun Bant Genişliği, Kapasite ve İletim Gücü Üzerindeki Etkisi

Mehmet Ali Çavuşlu^{1*}, Mehmet Ali Altuncu², Hikmetcan Özcan³,
Fidan Kaya Gülağz⁴, Suhap Şahin⁵

Geliş / Received: 15/03/2020

Revize / Revised: 08/06/2020

Kabul / Accepted: 09/06/2020

ÖZ

Sualtı ortamına yönelik haberleşme teknolojilerindeki gelişmeler, yeni sualtı akustik iletişim tekniklerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu gelişmelere paralel olarak malzeme ve algılayıcı teknolojilerinin de gelişmeleri ile birlikte, bu teknolojiler uygulanabilir hale gelmiştir. Böylece sualtı ortamında yüksek bant genişliklerinde, uzak mesafelere veri iletimine yönelik çalışmalar artmıştır. Sualtı ortamının kaotik yapısı, kaynaktan alıcıya veri iletimini zor hale getirmektedir. Sualtında yüksek frekanslarda uzak mesafelere iletim gerçekleştirilememesi ve yüksek frekanslarda çalışacak şekilde tasarlanan sistemlerin sınırlı bant genişliğine sahip olması nedeni ile sualtı haberleşmeye yönelik çalışmalarda düşük frekanslar tercih edilmektedir. İki nokta arasında gerçekleştirilecek iletişim bant genişliğinden, kaynak iletim gücünden ve kaynak-alıcı arası mesafeden doğrudan etkilemektedir. İletişimin gerçekleştirileceği ortamda kaynaktan yayılan sinyaller algılayıcıda çok yönlü olarak alınmaktadır. Özellikle yüzeyden ve dipten yansımalar, algılayıcıda alınan sinyallerin bozulmasına sebep olmaktadır. Bu çalışma kapsamında, sualtı ortamında literatürde önerilen iletim kaybı, emilim kaybı ve ortam gürültüsü modelleri kullanılarak bant genişliği, kapasite ve iletim gücü hesapları gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda kaynaktan alıcıya ulaşan farklı sayıda çok yönlü sinyaller, çok yönlü sinyallerin maruz kaldığı farklı dip/yüzey yansıma zayıflamalarının ve kaynak alıcı arası mesafenin bant genişliği, kapasite ve iletim gücü üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Analizler sonucunda kaynaktan alıcıya ulaşan çok yönlü sinyallerin sayısının, dip/yüzey yansıma zayıflamalarının seviyesinin ve kaynak alıcı arasındaki mesafenin bant genişliği, kapasite ve iletim gücünü doğrudan etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler- *Sualtı akustiği, Bant genişliği, Kanal kapasitesi, İletim gücü*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: alicavuslu@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-8736-3845>)

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe, Kocaeli, Türkiye

²İletişim: mehmetali.altuncu@kocaeli.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2948-3937>)

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe, Kocaeli, Türkiye

³İletişim: hikmetcan.ozcan@kocaeli.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-7146-203X>)

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe, Kocaeli, Türkiye

⁴İletişim: fidan.kaya@kocaeli.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3519-9278>)

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe, Kocaeli, Türkiye

⁵İletişim: suhapsahin@kocaeli.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-1340-8972>)

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Umuttepe, Kocaeli, Türkiye

The Effect of Multipath on Bandwidth, Capacity and Transmission Power in Underwater Communication

ABSTRACT

Advances in communication technologies for the underwater environment have led to the emergence of new underwater acoustic communication techniques. In parallel with these developments, with the development of material and sensor technologies, these technologies have become feasible. Thus, the studies for transmitting data at high bandwidths and long distances in the underwater environment have increased. The chaotic nature of the underwater environment makes it difficult to transmit data from the source to the receiver. Low frequencies are preferred in underwater communication studies because the systems designed to operate at high frequencies cannot be transmitted to long distances at high frequencies and have limited bandwidth. Communication between two points directly affects bandwidth, source transmission power, and source-receiver distance. In the environment where the communication will be carried out, the signals emitted from the source are received as multi-way in the sensor. Especially reflections from the surface and bottom cause the signals received in the sensor to be distorted. In this study, using the transmission loss, absorption loss, and ambient noise models proposed in the literature in the underwater environment, bandwidth, capacity, and transmission power calculations were performed. In calculations, the effects of the different number of multipath signals reaching the receiver from the source, the different dip/surface reflection attenuation to which the multipath signals are exposed, and the distance between the source-receiver on the bandwidth, capacity, and transmission power were analyzed. As a result of the analysis, it was found that the number of multipath signals reaching the receiver from the source, the level of the bottom/surface reflection attenuation, and the distance between the source-receiver directly affect the bandwidth, capacity and transmission power.

Keywords- *Underwater Acoustics, Bandwidth, Capacity, Transmission Power*

I. GİRİŞ

Son zamanlarda akustik haberleşme teknolojisinde meydana gelen gelişmeler sualtı ağların geliştirilmesine yönelik deneysel ve araştırmaların artmasını sağlamıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmaların sonucu olarak yüksek hızlı sualtı akustik iletişim teknikleri kullanımının artması ve sualtı ortamında çalışacak algılayıcı teknolojisindeki gelişmeler [1] ile noktadan noktaya iletişim bağlantılarının özerk sualtı ağlarına entegrasyonuna yönelik çalışmalar hız kazanmıştır [2].

Sualtı akustik ortamda oluşan kanallar, sualtı ortamının kaotik yapısı nedeni ile günümüzde kullanılan en zor iletişim ortamlarından biri olarak kabul edilmektedir. Sualtı ortamında akustik yayılım en iyi düşük frekanslarda gerçekleşmektedir ve iletişim için kullanılabilir mevcut bant genişliği son derece sınırlıdır. Örneğin, 11 KHz ila 14 KHz arasındaki bir frekans aralığında çalışan akustik sistemde iletişim için gerekli toplam bant genişliği karasal kablosuz sistemlere göre düşük olmasına rağmen (3 KHz), sistem sualtı ortamı için geniş bantlı olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle sualtı akustik sistemlerde tanımlı bant genişliğinin merkez frekansa göre ihmal edilememektedir [2].

Sualtı akustik kanalları, kablosuz ağların tasarımını etkileyen çok fazla kısıta sebep olmaktadır. Bu kanallar, karasal bir radyo sisteminden çok daha belirgin bir şekilde, sinyal frekansı ve iletim mesafesine bağlı yol kaybı ile karakterize edilebilirler. Bu nedenle sadece iletim gücü değil, kullanışlı bant genişliği de iletim mesafesine bağlı olarak değişmektedir.

Kapasite, belirli bir güce sahip kaynak ile belirli bir mesafedeki alıcı arasında desteklenebilecek (kuramsal olarak) maksimum veri hızını belirler. Uygulamada, fiziksel olarak kullanılan mekanizmalardan kaynaklanan bant genişliği sınırlamaları ile kaynak spektrumu üzerinde ek kısıtlamalar uygulanır [3]. Sinyal frekansı, akustik enerjinin ısıya aktarılması nedeniyle oluşan emilim kaybını belirler. Bu gerçek, akustik bant genişliğinin iletişim mesafesine bağlılığını ifade eder. Sonuçta ortaya çıkan bant genişliği sınırlaması, akustik yayılım fiziği tarafından belirlendiği gibi, dönüştürücü (transdüser) cihazlarının kısıtlamaları ile belirlenemeyen temel bir sınırlamadır. Emilim kaybı, frekansla ve mesafeyle birlikte artar, sonuçta sonlu iletim gücünün pratik kısıtlamaları dâhilinde mevcut bant genişliğine bir sınır getirir. Sonuç olarak, daha kısa bir iletişim bağlantısı, bir sualtı akustik sistemindeki daha geniş bir bant genişliğini sağlar.

Bu çalışmada, literatürde sunulan sualtı akustik modelleri kullanılarak bant genişliği, kapasite ve iletim gücü hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamalar sonucu yapılan analizlerde yayılım kaybı olarak silindirik, küresel ve pratik yayılım modelleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile sualtı ortamında farklı iletim kaybı yaklaşımlarında bant genişliği, kapasite ve iletim kaybı hesaplarının gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir.

Makalenin organizasyonu şu şekildedir: Bölüm 2’de sualtı akustiği hakkında temel bilgiler, sualtı ortamının modellenmesi ve sualtı ortamında meydana gelen kayıplar hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 3’te literatürde sunulan genel yaklaşımlar kullanılarak bant genişliği, kapasite ve iletim gücü model parametrelerine yönelik gerçekleştirilen hesaplar anlatılmıştır. Bölüm 4’te gerçekleştirilen analizlerin bilime ve günümüz teknolojisine sağlayabileceği katkılar tartışılmıştır.

II. SUALTI AKUSTİK ORTAMI VE MODELLENMESİ

Sualtı akustik sinyalleri, bir cismin (gemi pervanesi ve motoru, gemideki metal cisimler, deniz canlıları, dalgalar, vb.) hareketinin (titreşim, çarpma, vb.) oluşturduğu işitilebilen frekans bandında veya dışında ses dalgalarıdır. Ses dalgaları, oluşturdukları basınçla su moleküllerini hareket ettirerek sualtında çok uzak mesafelere kadar yayılırlar [4].

Sualtı ortamında en önemli akustik değişken ses hızıdır ve ses hızının sualtı ortamındaki dağılımı diğer tüm akustik olayları etkiler. Deniz yüzeyinin durumu ile deniz tabanının yapısının bilinmesi, ses hızının davranışına yönelik sınır koşullarının belirlenmesi için önemlidir. Bunlara ek olarak batimetrik özellikler sesin yayılmasını engelleyebilir. Sualtında bulunan biyolojik organizmalar gürültü kaynağı olarak değerlendirilir ve sesi dağıtarak daha uzun mesafelere ulaşmasını engeller [5]. Sualtı ortamında ses hızı, üç ana temel nicelik olan tuzluluk, sıcaklık ve basınç parametrelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu temel niceliklerin aksine diğer fiziksel özelliklerin sualtı ortamında ses hızını etkilemediği belirlenmiştir [4].

Bu temel etkiler göz önünde bulundurularak literatürde sıcaklık, derinlik ve tuzluluk değerleri ile sualtı ortamında ses hızının hesaplanmasına yönelik farklı yöntemler sunulmuştur. Denklem (1) - Denklem (3)'de literatürde en fazla tercih edilen hesaplama yöntemleri sunulmuştur. Denklem (1)'de [6]'da Leroy tarafından tanımlanan ses hızı hesaplama yöntemi, Denklem (2)'de [7]'de Medwin tarafından tanımlanan ses hızı hesaplama yöntemi ve Denklem (3)'de [8]'de Mackenzie tarafından tanımlanan ses hızı hesaplama yöntemi için geliştirilen modeller gösterilmiştir.

Denklemlerde tanımlı T °C cinsinden sıcaklık değerini, D metre cinsinden derinlik değerini ve S pratik tuzluluk birimleri (p.s.u.- practical salinity units) cinsinden tuzluluk değerini göstermektedir. Denklem (1) - Denklem (3)'den de görüleceği geliştirilen modeller ses hızının hesaplanmasında farklı sınır değerlerine sahiptirler.

$$c = \begin{matrix} 1492.9 + 3(T - 10) - 6(T - 10)^2 10^{-3} - 2^\circ \text{£ } T \text{ £ } 24.5^\circ \\ - 4(T - 18)^2 10^{-2} + 1.2(S - 35) & 30 \text{ £ } S \text{ £ } 42 \\ - 10^{-2}(T - 10)(S - 35) + \frac{D}{61} & 0 \text{ £ } D \text{ £ } 1000 \end{matrix} \quad (1)$$

$$c = \begin{matrix} 1449.2 + 4.6T - 5.5T^2 10^{-2} & 0^\circ \text{ £ } T \text{ £ } 35^\circ \\ + 2.9T^3 10^{-4} + (1.34 - T 10^{-2})(S - 35) & 0 \text{ £ } S \text{ £ } 45 \\ + 1.6D 10^{-2} & 0 \text{ £ } D \text{ £ } 1000 \end{matrix} \quad (2)$$

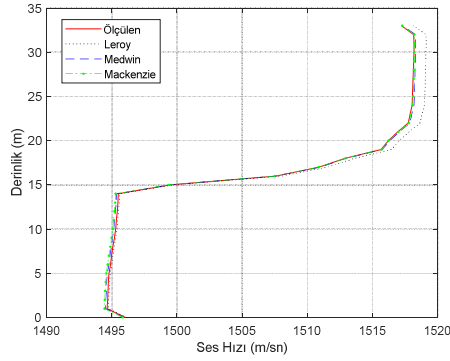
$$c = \begin{matrix} 1448.96 + 4.591T - 5.304T^2 10^{-2} + 2.374T^3 10^{-4} & 0^\circ \text{ £ } T \text{ £ } 30^\circ \\ + 1.340(S - 35) + 1.630D 10^{-2} + 1.675D^2 10^{-7} & 30 \text{ £ } S \text{ £ } 40 \\ - 1.025T 10^{-2}(S - 35) - 7.139TD^3 10^{-13} & 0 \text{ £ } D \text{ £ } 8000 \end{matrix} \quad (3)$$

28 Kasım 2018 tarihinde Marmara denizinde CDT (Conductivity, Temperature, Pressure - İletkenlik, Sıcaklık, Basınç) ölçüm ucu [9] kullanılarak gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen derinliğe bağlı ses hızı profili ile birlikte ölçümlerde alınan derinliğe bağlı tuzluluk ve sıcaklık verileri Denklem (1) - Denklem (3)'de tanımlanan modellere uygulanmıştır. Şekil 1'de modeller sonucunda elde edilen ses hızı profilleri ile CDT prob ile elde edilen ses hızı profili gösterilmiştir. Şekil 1'de oluşturulan grafik için kullanılan verilerin her bir hesaplama yöntemine ait sınır değerleri ile uyumluluğu göz önünde bulundurulmuştur.

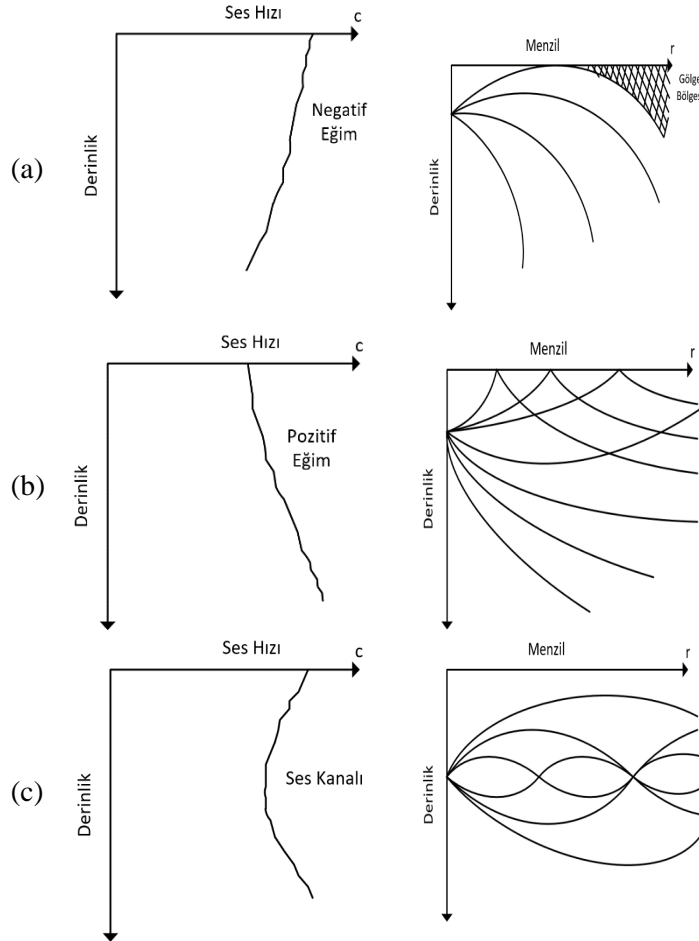
Şekil 2'de ses hızına bağlı olarak sualtı ortamında akustik sinyallerin davranışları gösterilmiştir. Ses hızının derinlikle beraber azalması durumu negatif eğim olarak ifade edilmekte ve genellikle bu durum yaz aylarında oluşmaktadır. Bu durumda kaynak-alıcı arası mesafe arttıkça akustik sinyallerde kırılmalar meydana gelmesi nedeni ile akustik sinyaller uzak mesafelere taşınmazlar (Şekil 2a). Ses hızının derinlikle beraber artması durumu pozitif eğim olarak ifade edilmekte ve genellikle bu durum kış aylarında oluşmaktadır (Şekil 2b). Ses hızının derinlikle beraber önce azalıp daha sonra artması durumunda ses kanalı oluşur ve akustik sinyaller bu kanal içerisinde hareket ederler (Şekil 2c). Şekil 2'den de görüleceği üzere akustik sinyaller ses hızının minimum olduğu bölgeye doğru hareket etmektedirler.

A. Ortam Gürültüsü

Ortam gürültüsü, gürültü seviyesi yapılacak sistemin bulunduğu noktada alınan ve sistemin gürültüsünden hariç olan gürültüdür. Sualtında meydana gelen ortam gürültüsü hem doğal hem de insan kaynaklı olmak üzere birçok kaynaktan meydana gelen gürültülerin toplamıdır. Birçok ortam gürültüsü kaynağı, Gauss istatistiklerine sahip sürekli frekans bantları oluşturur [10].



Şekil 1. Sualtı ortamında CDT prob ile farklı derinliklerde ses hızı ölçüm değerinin gösterimi ve literatürde önerilen hesaplama yöntemleri ile karşılaştırılması



Şekil 2. Sualtı ortamında akustik sinyallerin ses hızına bağlı olarak hareketleri

Literatürde sualtı ortam gürültü seviyesinin modellenmesine ilişkin çeşitli çalışmalar mevcuttur. II. Dünya Savaşı sırasında yapılan ölçümler [11] ile deniz durumuna bağlı olarak her bir frekans binindeki gürültü seviyelerinin hesaplanmasına yönelik model ortaya konulmuştur. Bu modele alternatif olarak sıklıkla kullanılan

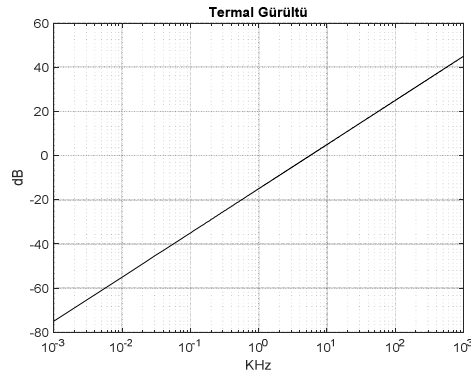
sualtı ortam modellerinin oluşturulmasına yönelik çalışmalar Wenz [12], Crouch [13] ve Urick [14] tarafından gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında [15]'de önerilen doğal gürültü kaynaklarından termal gürültü, yüzey gürültüsü ve türbülans gürültüsüne ek olarak, insan kaynaklı gürültülerden gemi trafiği gürültüsü etkileri göz önünde bulundurularak ortam gürültüsü benzetimi işlemleri gerçekleştirilmiştir.

B. Termal Gürültü

Temel olarak su moleküllerinin rastgele hareket etmesi ile meydana gelen ve 50 KHz'den daha yüksek frekanslarda baskın olan termal gürültü [16], sualtı ortamında gerçekleştirilen akustik ölçümleri olumsuz yönde etkilemekte [17] ve oluşan gürültü seviyesi ölçülebilen ses seviyelerini ayarlamaktadır [16]. Sualtı ortamında oluşan termal gürültünün frekans karakteristiği Denklem (4)'de verilen formüle ile hesaplanır. Denklem (4)'de, f KHz cinsinden frekans değerini göstermektedir. Şekil 3'de termal gürültünün frekans karakteristiği verilmiştir.

$$GS_{\text{ter}}(f) = -15 + 20\log(f) \quad (4)$$



Şekil 3. Sualtı ortamında termal gürültü frekans karakteristiği

C. Yüzey Gürültüsü

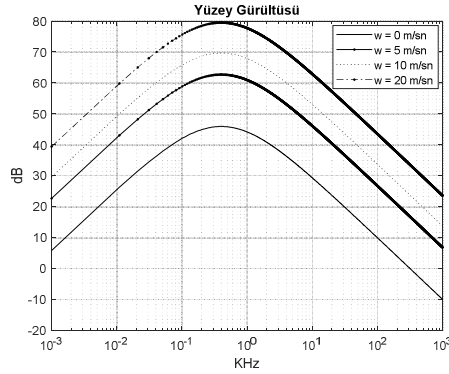
Yüzey gürültüsü, rüzgâr hızına bağlı olarak farklı seviyelerde su yüzeyi üzerinde meydana gelen gürültüler olarak ifade edilmektedir. Sualtı ortamında oluşan yüzey gürültüsünün frekans karakteristiği Denklem (5)'de verilen formüle ile hesaplanır. Denklem (5)'de, f KHz cinsinden frekans değerini göstermektedir. w, m/sn cinsinden rüzgâr hızını göstermektedir. Şekil 4'de' de farklı rüzgâr hızlarında oluşan yüzey gürültüsü frekans karakteristiği gösterilmiştir.

$$GS_{\text{yuz}}(f) = 50 + 7.5\sqrt{w} + 20\log(f) - 40\log(f + 0.4) \quad (5)$$

D. Gemi Trafiği Gürültüsü

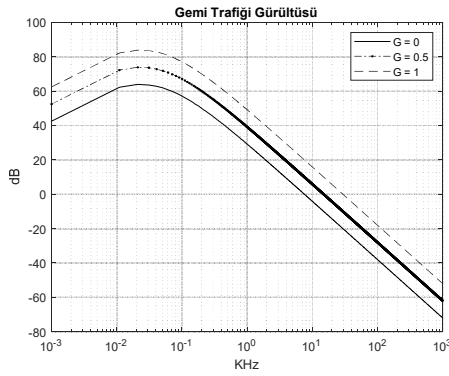
Yüzer taşıtlar tarafından sualtı ortamında yayılan akustik gürültü bileşenleri, makina hareketleri, düşürme dişlileri, akış gürültüsü, jeneratör ile tulumba ve fan gibi motorlardan çıkan gürültülerden oluşmakla birlikte, pervanenin yüksek hızlarda oluşturduğu kavitasyon gürültüsü de mevcuttur [18]. Deniz ortamına yayınlanan bu geniş bantlı akustik gürültü genelde 10 Hz ilâ 2 kHz arasında gözlenir [19]. Sualtı ortamında oluşan gemi trafiği gürültüsünün frekans karakteristiği Denklem (6)'da verilen formüle ile hesaplanır. Denklem (6)'da, f KHz cinsinden frekans değerini, G gemi yoğunluğu faktörü değerini [0 1] aralığında ifade etmektedir.

$$GS_{\text{gemi}}(f) = 40 + 20(G - 0.5) + 26\log(f) - 60\log(f + 0.03) \quad (6)$$



Şekil 4. Sualtı ortamında yüzey gürültüsü frekans karakteristiği

Şekil 5'de $G = 0$, $G = 0.5$ ve $G = 1$ gemi yoğunluğu faktörleri değerlerinde oluşan frekans karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 5. Sualtı ortamında gemi trafiği gürültüsü frekans karakteristiği

E. Türbülans Gürültüsü

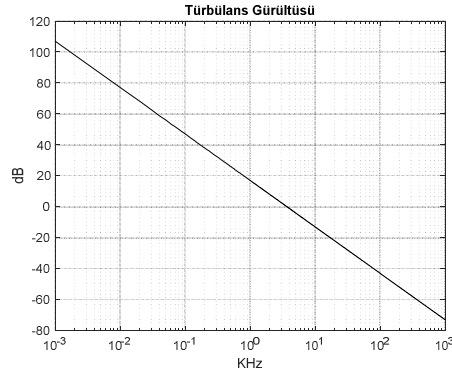
Sualtı ortamında türbülans gürültüsünün, etkisi özellikle düşük frekanslarda (1 Hz – 10 Hz) çok yüksektir. Türbülans gürültüsünün frekans karakteristiği Denklem (7)'de verilen formül ile hesaplanır. Denklem (7)'de, f KHz cinsinden frekans değerini göstermektedir. Şekil 6'da türbülans gürültüsü karakteristiği gösterilmiştir.

$$GS_{\text{turb}}(f) = 17 - 30 \log(f) \quad (7)$$

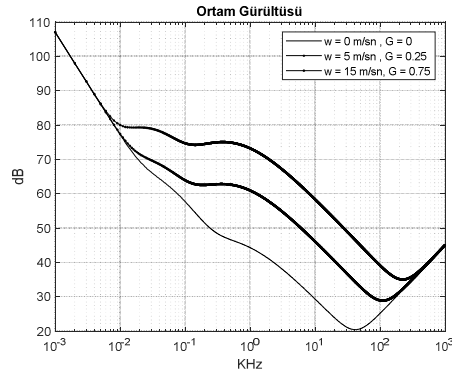
F. Toplam Ortam Gürültüsü

Termal gürültü, yüzey gürültüsü, gemi trafiği gürültüsü ve türbülans gürültüsü etkileri göz önünde bulundurularak sualtı ortamına ait toplam gürültü Denklem (8)'deki gibi hesaplanmaktadır. Şekil 7'de farklı rüzgâr hızı ve gemi trafiği yoğunluğu değerlerinde ortam gürültüsü frekans karakteristikleri gösterilmiştir.

$$GS = 10 \log \left(10^{\frac{GS_{\text{ter}}}{10}} + 10^{\frac{GS_{\text{yüz}}}{10}} + 10^{\frac{GS_{\text{gemi}}}{10}} + 10^{\frac{GS_{\text{turb}}}{10}} \right) \quad (8)$$



Şekil 6. Sualtı ortamında türbülans gürültüsü frekans karakteristiği



Şekil 7. Sualtı ortamında toplam gürültü frekans karakteristiği

G. İletim Kayıpları

Sualtı ortamında iletim kayıpları yayılım ve dağılım kaynaklı olmak üzere iki şekilde meydana gelmektedir. Denklem (9)'dan da görüleceği üzere iletim kaybı (İK) mesafe (r), yayılma faktörü (K) ve frekans (f) değerlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir ve yayılımdan dolayı meydana gelen kayıplar (YK) ile dağılımdan dolayı meydana gelen kayıpların (DK) toplamı olarak ifade edilir.

$$\dot{I}K(r, K, f) = YK(r, K) + DK(r, f) \quad (9)$$

Literatürde kaynaktan alıcıya kadar meydana gelen iletim kaybına yönelik farklı yaklaşımlar önerilmiştir. Bunlardan en sıklıkla kullanılan küresel yayılım modeli ile emilim kaybının birlikte hesaplanmasıdır (Denklem (10)) [20]. Denklem (10)'da İK iletim kaybını, metre cinsinden kaynak – alıcı arasındaki mesafeyi ve α emilim kaybını göstermektedir. Silindirik yayılım modeli kullanılarak elde edilen toplam iletim kaybı Denklem (11)'de pratik yayılım modeli kullanılarak elde edilen toplam iletim kaybı Denklem (12)'de gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilecek analizler kapsamında Denklem (10) - Denklem (12)'de tanımlanan yayılım modelleri kullanılacaktır.

$$\dot{I}K(f) = 20 \log_{10}^r + \frac{\alpha(f)r}{10^3} \quad (10)$$

$$\dot{I}K(f) = 10 \log_{10}^r + \frac{\alpha(f)r}{10^3} \quad (11)$$

$$\dot{K}(f) = 15 \log_{10} r + \frac{\alpha(f)r}{10^3} \quad (12)$$

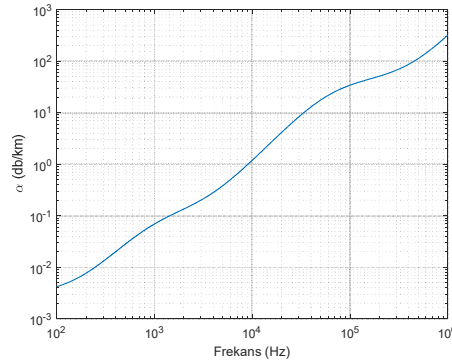
Denklem (13)'de Thorp [20] tarafından önerilen birkaç yüz Hz üzeri frekanslarda kullanılan daha basit ve özellikli emilim hesabı verilmiştir. Denklem (13)'de α emilim miktarını db/km cinsinden ve f frekans değerini KHz cinsinden tanımlanmaktadır [21].

$$\alpha = \frac{0.1f^2}{1+f^2} + \frac{40f^2}{4100+f^2} + 2.75 \times 10^{-4} f^2 + 0.003 \quad (13)$$

Birkaç yüz Hz aşağısı frekanslar için ise Denklem (14) ile verilen eşitlik kullanılabilir [21].

$$\alpha = 0.002 + 0.11 \frac{f^2}{1+f^2} + 0.011f^2 \quad (14)$$

Şekil 8'de Denklem (13) ve Denklem (14)'de verilen hesaplama yöntemi kullanılarak frekansa bağlı olarak emilim miktarları gösterilmiştir. Şekil 8'den de görüleceği üzere düşük frekanslarda emilim miktarı neredeyse yok denecek kadar az iken yüksek frekanslara çıkıldıkça emilim miktarı yüksek seviyelere çıkmaktadır. Bu nedenle sualtı ortamında yüksek frekansların kullanımı çok tercih edilememektedir.

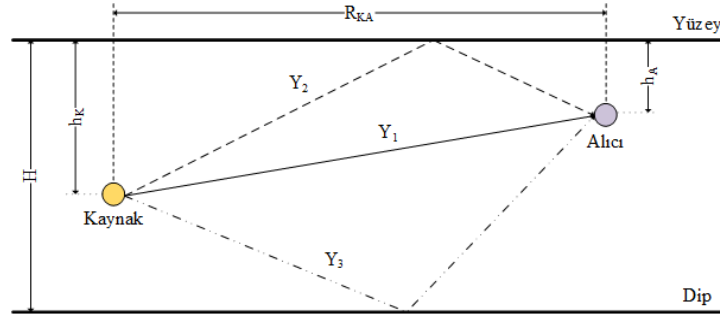


Şekil 8. Formül (13)'de verilen hesaplama yöntemine göre frekansa bağlı olarak emilim miktarlarının değişimi

H. Çok Yolluluk Etkisi

Sualtı ortamında kaynaktan yayılan sinyaller algılayıcıda, direk yolla birlikte ulaşan sinyalin yüzeyden ve dipten yansımalarının etkisi ile algılayıcıya gecikmeli olarak ulaşan sinyaller ile toplamı şeklinde algılanmaktadır. Bu etki göz önünde bulundurularak sinyallerin oluşturmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Şekil 9'da kaynaktan yayılan sinyalin 3 yoldan algılayıcıya ulaşma şekli gösterilmiştir. Çok yolluluk etkisi ile meydana gelecek gecikmeler yüzey ile dip arasındaki derinlik (H), kaynak ile yüzey arasındaki derinlik (h_K), alıcı ile yüzey arasındaki derinlik (h_A), kaynak ile alıcı arasındaki yatay mesafeye (R_{KA}) bağlı olarak hesaplanmaktadır. Gecikmelerin sebep olacağı kayıplar ile birlikte dipten ve yüzeyden yansımalara ilişkin zayıflamalar göz önünde bulundurularak algılayıcıda alınan sinyalin genlik seviyeleri hesaplanmaktadır.



Şekil 9. Kaynaktan algılayıcıya çok yolluluk etkisi

Şekil 9'da gösterilen Y_1 yolu için sinyalin algılayıcıya ulaşmaya kadar aldığı yol denklem (15), Y_2 yolu için sinyalin algılayıcıya ulaşmaya kadar aldığı yol hesabı denklem (16) ve Y_3 yolu için sinyalin algılayıcıya ulaşmaya kadar aldığı yol hesabı denklem (17)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$X_{Y_1} = \sqrt{|h_K - h_A|^2 + R_{KA}^2} \quad (15)$$

$$X_{Y_2} = \sqrt{(h_K + h_A)^2 + R_{KA}^2} \quad (16)$$

$$X_{Y_3} = \sqrt{(2H - h_K - h_A)^2 + R_{KA}^2} \quad (17)$$

Algılayıcıya ulaşan yollara ait uzaklıkların hesaplanmasından sonra bu uzaklıklarda meydana gelecek yol kayıpları hesaplanmaktadır. Yol kayıplarına dipten ve yüzeyden yansımalarda meydana gelen kayıplarda eklenerek algılayıcıda sinyalin uğradığı yol kaybı hesaplanır (Denklem (18)). Denklem (18)'de $\dot{I}K_{DP}$ dB cinsinden dipten yansımaya kaybını, N dipten kaç yansıma olduğunu, $\dot{I}K_{YZ}$ dB cinsinden yüzeyden yansımaya kaybını ve M yüzeyden kaç yansıma olduğunu göstermektedir.

$$\dot{I}K_T = \dot{I}K_{YK} + N \cdot \dot{I}K_{DP} + M \cdot \dot{I}K_{YZ} \quad (18)$$

III. BANT GENİŞLİĞİ, KAPASİTE VE İLETİM GÜCÜNÜN HESAPLANMASI

Bu bölümde, Bölüm 2'de tanımlanan modeller ve yaklaşımlar kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler hem vericinin hem de alıcının her aktarım için kanal aktarım fonksiyonunun tam olarak bilindiği ve kanal fonksiyonunun her aktarım sırasında değişmediği varsayımı ile yapılmıştır.

A. Toplam Sinyal Zayıflaması Ve Sinyal Gürültü Oranı

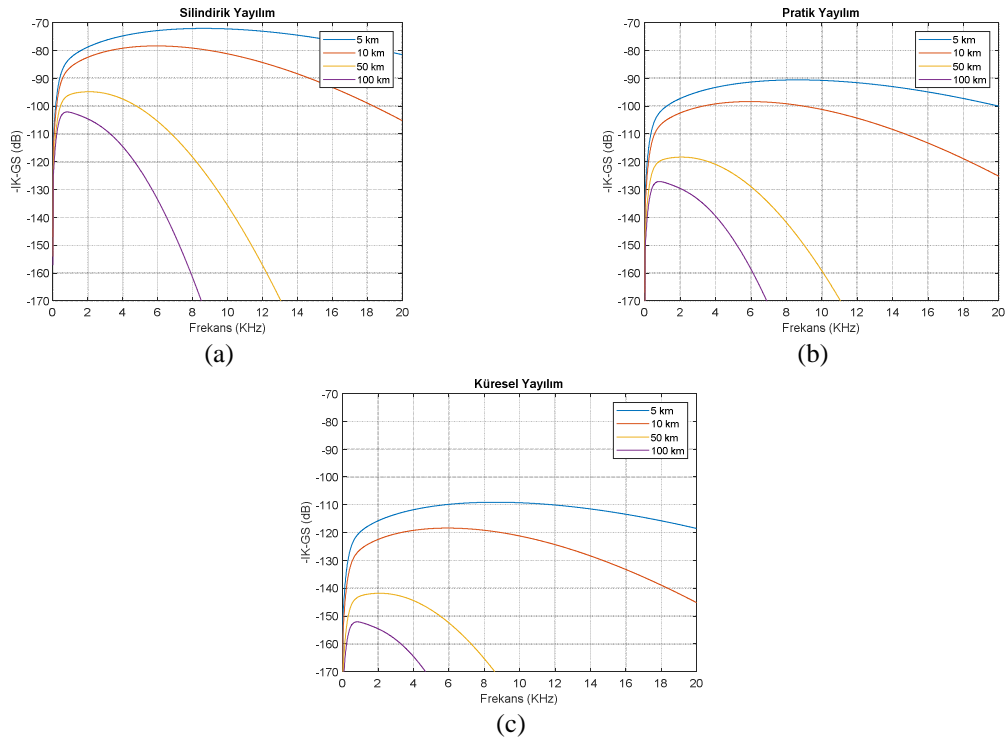
Kaynak tarafından f frekansında ve P gücünde bir ton sinyalinin frekans ve kaynak alıcı arasındaki mesafeye (1) bağlı olarak meydana gelen zayıflama ($\dot{I}K(l, f)$) ve alıcının bulunduğu konumda f frekansında bulunan gürültü güç izge yoğunluğu ile sinyal gürültü oranı (SNR) hesaplanabilir. Farklı yol kayıpları ve alıcı yönlülük indeksi parametrelerinin hesaba katılmadığı dar bant SNR seviyesi Denklem (19)'daki gibi hesaplanır.

$$SNR(l, f) = KS - \dot{I}K(l, f) - GS(f) - 10 \log B \quad (19)$$

Denklem (19)'da KS dB cinsinden kaynak seviyesini, $\dot{I}K(l, f)$ dB cinsinden kaynak-alıcı arasındaki mesafe ve kaynak tarafından iletilen sinyalin frekansına bağlı olarak iletim kaybını, $GS(f)$ ise dB cinsinden

kaynak tarafından yayılan sinyal frekansında alıcıdaki ortam gürültüsünü, B ise alıcı bant genişliğini Hz değerinden ifade etmektedir.

Şekil 10'da kaynak alıcı arasındaki mesafenin 5 km, 10 km, 50 km ve 100 km olduğu durumlarda dar bant SNR'ın frekansa bağımlılığı silindirik (Şekil 10a), pratik (Şekil 10b) ve küresel (Şekil 10c) yayılım modelleri kullanılarak gösterilmiştir. Ortam gürültüsü için gemi yoğunluğu değeri 0.5 ve rüzgâr hızı 0 m/sn olarak alınmıştır. Şekil 10'dan da görüleceği üzere dar bant SNR'ın frekansa bağımlılığı karakteristik olarak yayılım modelinden bağımsız olmasına rağmen seviyelerin yayılım modeline bağlı olduğu gözlenmiştir.



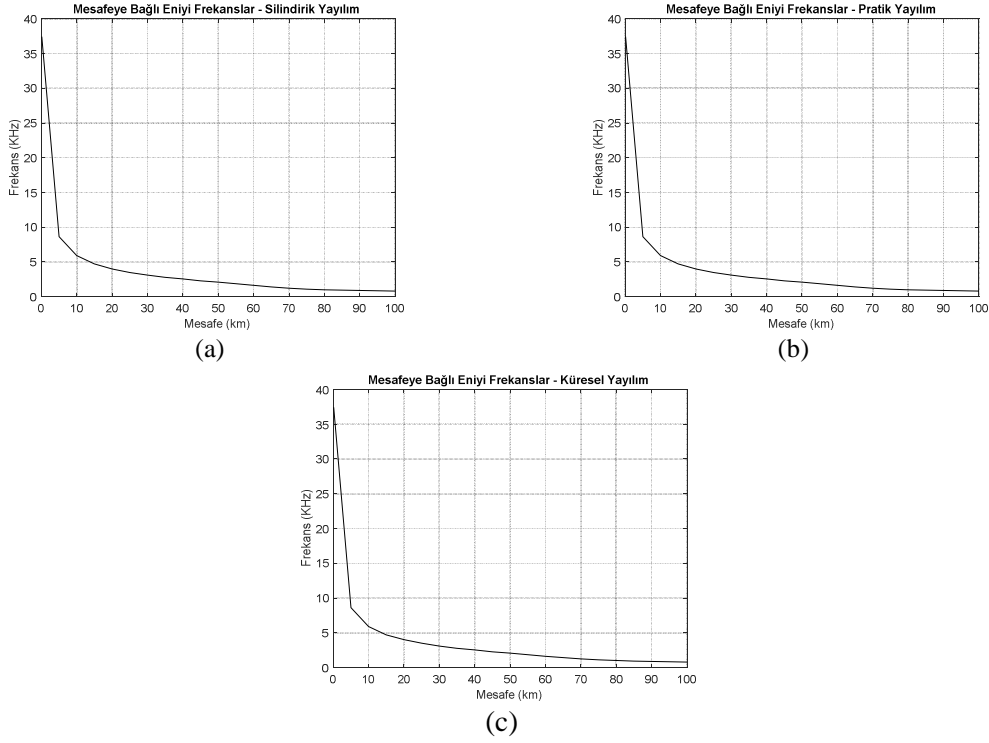
Şekil 10. Dar bant SNR'ın frekansa bağımlılığı

Şekil 11'de mesafeye bağlı olarak en iyi frekanslar silindirik, pratik ve küresel yayılım modellerine göre gösterilmiştir. Şekil 11'den de görüleceği üzere en iyi frekans değerinin yayılım modelinden bağımsız olduğu görülmektedir. En iyi frekans değerleri elde edilen çıktı değerleri içerisinde maksimum değer bulunduğ noktalarla denk gelen frekans değerleri seçilmiştir.

B. Bant Genişliği ve Kapasite

Kaynak seviyesi, bant genişliği içerisindeki frekansları kapsayan toplam ortam gürültü seviyesinin, frekans ve mesafeye bağlı ters iletim kaybının toplamına bölümü ile her bir frekans değeri için gerekli kaynak seviyesi bulunur. Bulunan bu değer bant genişliği ile çarpıldıktan sonra 0 dB SNR seviyesi için gerekli kaynak seviyesi bulunur. Bu değer üzerine kaynaktan alıcıya ulaşan sinyalin asgari olarak istenen SNR seviyesi eklendiğinde kaynak seviyesi elde edilmiş olunur (Denklem (20)).

$$KS(l) = SNR_0 B(l) \frac{\int_{B(l)} GS(f) df}{\int_{B(l)} \dot{K}^{-1}(l, f) df} \quad (20)$$



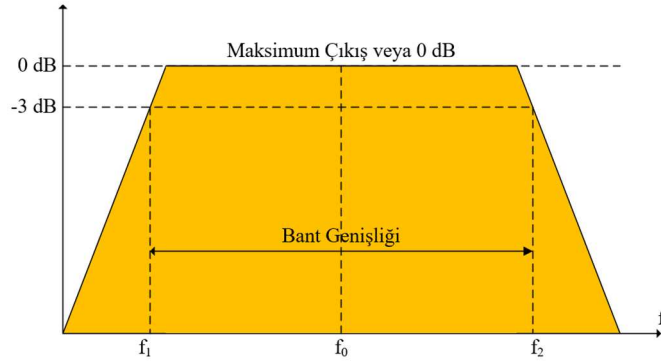
Şekil 11. Mesafeye bağlı en iyi frekanslar

Denklem (20)'de KS kaynak seviyesini, SNR_0 alıcıda gerekli sinyal gürültü oranını, GS ortam gürültü seviyesini, \dot{K} iletim kaybını, B bant genişliğini, l kaynak alıcı arasındaki mesafeyi ve f frekans değerini göstermektedir.

Bant genişliği belirleme işlemleri için 3 dB bant genişliği yöntemi kullanılmıştır (Şekil 12). Şekil 12'den de görüleceği üzere 3 dB bant genişliği f_0 merkez frekansından düşük frekanslarda seviyenin 3 dB azaldığı nokta f_1 , ve f_0 merkez frekansından yüksek frekanslarda seviyenin 3 dB azaldığı nokta f_2 arasında kalan frekans ($f_2 - f_1$) bölgesi olarak tanımlanır.

Çalışma kapsamında bant genişliği hesaplama işlemleri dar bant SNR'ın frekansa bağımlılığı işlemleri sonucunda elde edilen çıktılar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Merkez frekans olarak maksimum değer bulunduğu frekans değeri seçilmiştir. Alt ve üst frekanslar için ise, maksimum değerinin bulunduğu frekans değerinin aşağısı ve yukarısında 3 dB'lik azalmalar tespit edilmektedir.

Kapasite bir kanalın performansının ölçülmesinde kullanılan ilk argümanlardan biridir. Gürültünün Gaussian olduğu ve kanalın belirli bir süre için zamanla değişmez olduğu varsayıldığında, toplam bant genişliğinin birçok dar alt banda bölünmesi ve bireysel kapasitelerin toplanmasıyla kapasite elde edilebilir. Bir haberleşme kanalının iletim kapasitesi işaretin gücü, bant genişliği ve bant genişliğinin bulunduğu frekans bölgesindeki ortam gürültüsü, kaynak-alıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak hesaplanabilir (Denklem (21)).

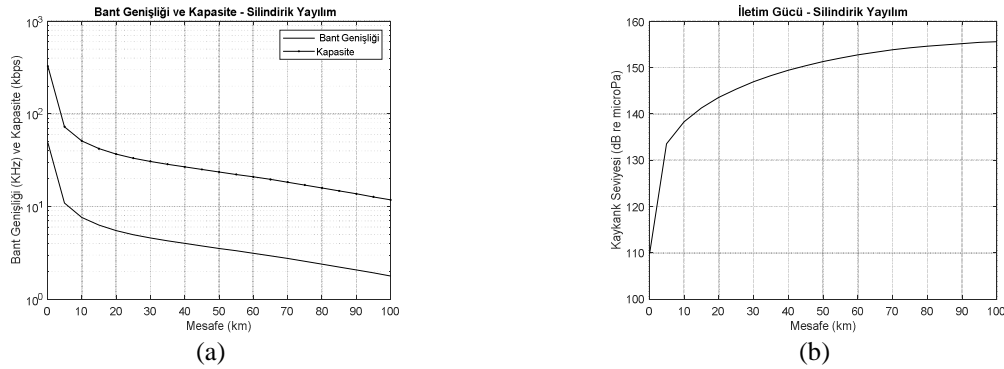


Şekil 12. 3 dB bant genişliği

$$C(l) = \int_{B(l)} \log_2 \left(1 + \frac{KS(l)}{İK(l,f)GS(f)} \right) \quad (21)$$

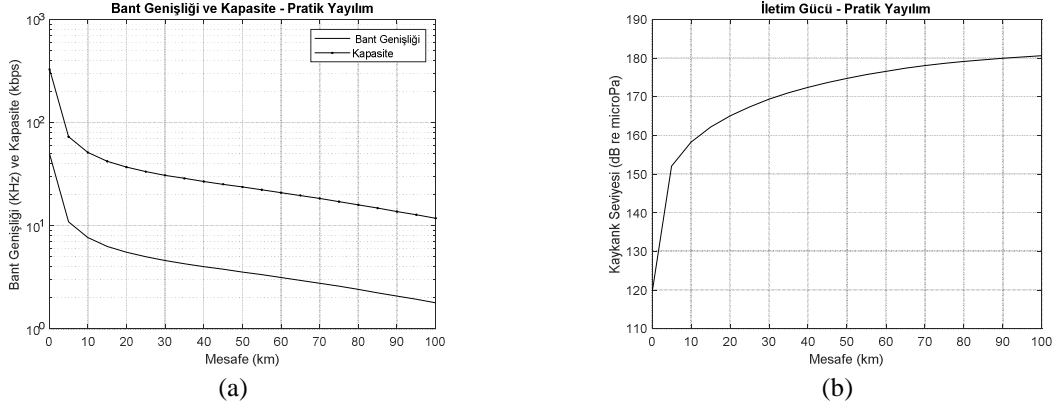
Denklem (21)'de C kanal kapasitesi değerini her bir saniyede iletilen bit sayısı (bit per second - bps) olarak ifade etmektedir. KS kaynak seviyesi değerini, İK iletim kaybını, GS ortam gürültü seviyesini göstermektedir. B Hz biriminde bant genişliğini göstermektedir. l metre cinsinden kaynak-alıcı arasındaki mesafeyi, f Hz cinsinden frekans değerini göstermektedir.

Alıcıda gerekli olan SNR değeri 20 dB seçilerek ve silindirik yayılım modeli kullanılarak elde edilen bant genişliği ve kapasite değerleri Şekil 13a'da, iletim gücü ise Şekil 13b'de gösterilmiştir.

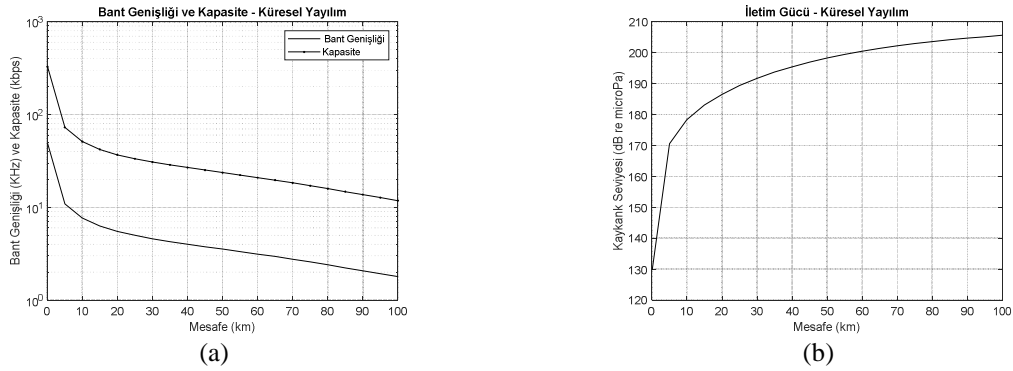


Şekil 13. SNR₀ = 20 dB seçilerek ve silindirik yayılım modeli kullanılarak elde edilen a) mesafeye bağlı bant genişliği ve kapasite, b) mesafeye bağlı iletim gücü

Şekil 14a ve Şekil 15a'da ise alıcıda gerekli olan SNR değeri 20 dB seçilerek sırasıyla pratik ve küresel yayılım modelleri kullanılarak elde edilen bant genişlikleri ve kapasite değerleri, Şekil 14b ve Şekil 15b'de ise iletim güçleri gösterilmiştir. Şekil 13a, Şekil 14a ve Şekil 15a'dan da görüleceği üzere yayılım modelinin kapasite ve bant genişliği üzerine etkisi olmamaktadır. Şekil 13b, Şekil 14b ve Şekil 15b'den de görüleceği üzere yayılım modeli kaynak iletim gücünü direkt olarak etkilemektedir.



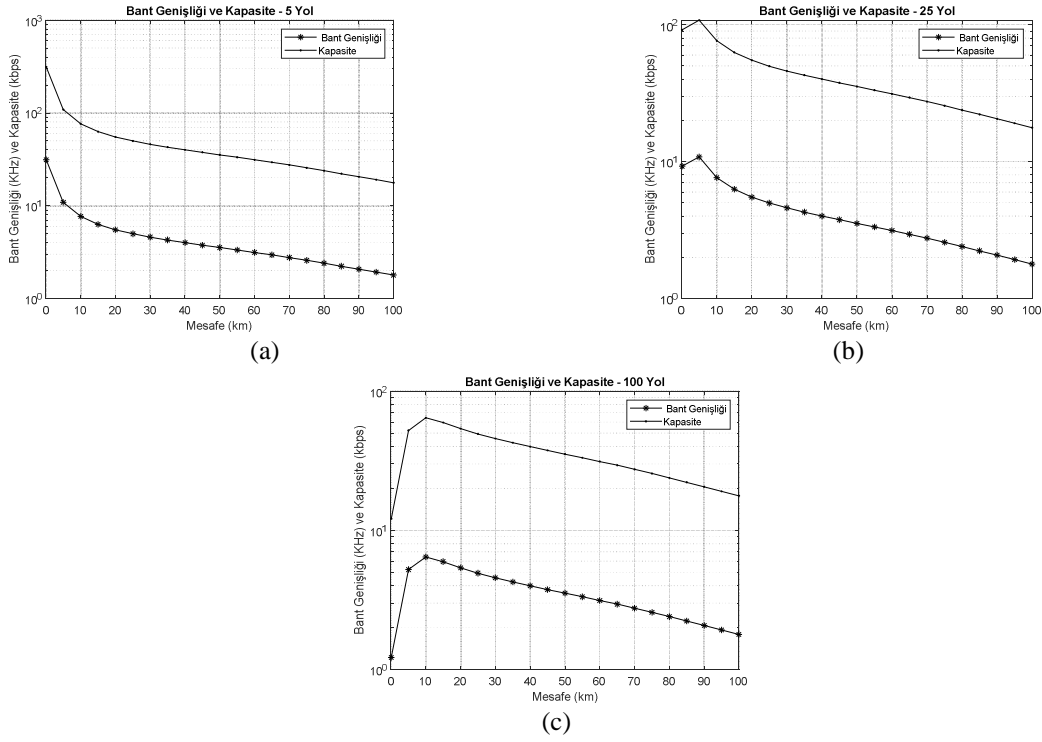
Şekil 14. $SNR_0 = 20$ dB seçilerek ve pratik yayılım modeli kullanılarak elde edilen a) mesafeye bağlı bant genişliği ve kapasite, b) mesafeye bağlı iletim gücü



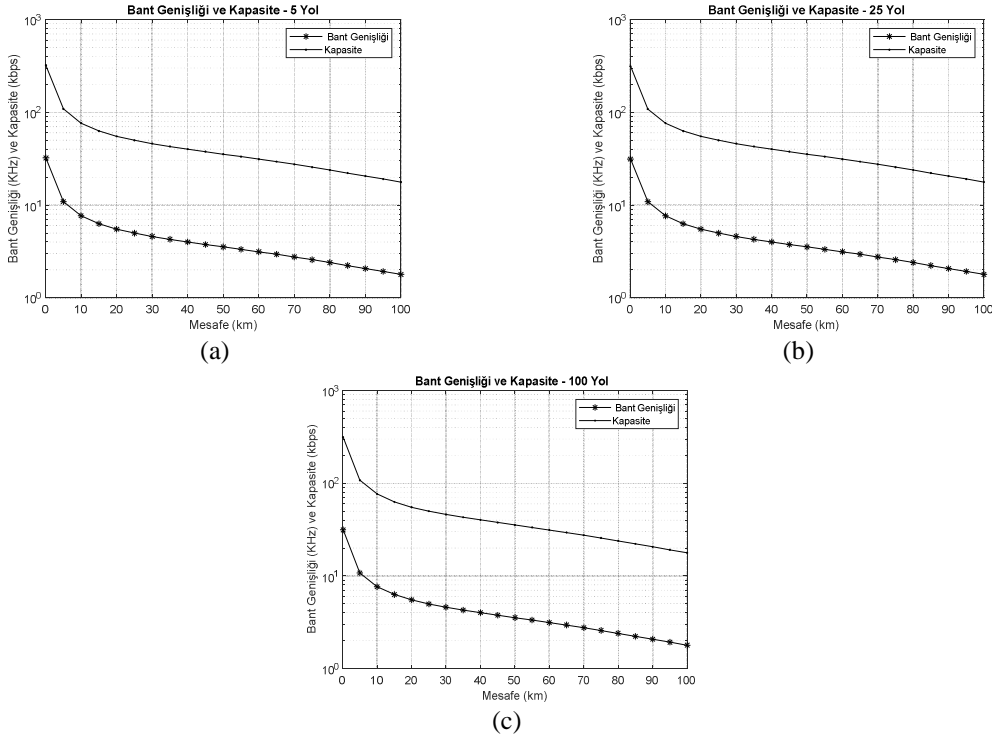
Şekil 15. $SNR_0 = 20$ dB seçilerek ve küresel yayılım modeli kullanılarak elde edilen a) mesafeye bağlı bant genişliği ve kapasite, b) mesafeye bağlı iletim gücü

Şekil 16'da kaynak alıcı arasında zayıflama olarak pratik yayılım modeli kullanıldığında ve emilimden dolayı meydana gelen yol kayıplarına ek olarak dip/yüzey zayıflamalarının olmadığı hesaba katılarak, kaynak alıcı arasında 5 yol, 25 yol ve 100 yol olduğu durumlarda farklı kaynak alıcı arası mesafeler için bant genişlikleri ve kapasiteleri gösterilmiştir. Şekil 16'dan da görüleceği üzere yol sayısı arttıkça bant genişliği ve kapasite eğrilerinde bozulmalar meydana gelmektedir.

Şekil 17'de kaynak alıcı arasında zayıflama olarak pratik yayılım modeli kullanıldığında ve emilimden dolayı meydana gelen yol kayıplarına ek olarak, dip/yüzey zayıflamalarının 1 dB olduğu hesaba katılarak, kaynak alıcı arasında 5 yol, 25 yol ve 100 yol olduğu durumlarda, farklı kaynak alıcı arası mesafeler için bant genişlikleri ve kapasiteleri gösterilmiştir. Şekil 17'den de görüleceği üzere bu durum için yol sayısı arttıkça bant genişliği ve kapasite eğrilerinde bozulmalar meydana gelmemektedir.



Şekil 16. Dip ve yüzey zayıflaması olmadığı durumda mesafeye bağlı kapasite ve bant genişliği



Şekil 17. Dip ve yüzey zayıflaması 1 dB olduğu durumda mesafeye bağlı kapasite ve bant genişliği

IV. SONUÇLAR

Sualtı ortamında haberleşme sisteminde kaynaktan yayılan sinyaller, kaynak-alıcı arasındaki mesafeye bağlı olarak yayılım kaybına ve olarak emilim kaybına uğradıktan sonra alıcıda alınır. Bu nedenle haberleşmenin gerçekleştirileceği mesafe ve iletilecek bilginin boyutu haberleşme sistemin kullanacağı bant genişliğini, kapasitesini ve kaynak gücünü doğrudan etkilemektedir.

Sualtı ortamında kış aylarında yaz aylarına göre daha uzak mesafelerde haberleşme gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 2). Haberleşme sisteminin performansı sualtında meydana gelen anlık değişimlerden (sıcaklık, tuzluluk, vb) doğrudan etkilenmektedir. Literatürde sunulan birçok çalışmada sualtı ortamında kaynak alıcı arasında oluşacak kanal modeli kestirimlerinde özellikle emilim kaybı hesapları frekansa bağlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında literatürde önerilen frekansa bağımlı emilim kaybı fonksiyonu kullanılarak farklı mesafeler için öncelikle dar bant SNR'ın frekans bağılılığı hesaplama işlemleri silindirik, pratik ve küresel yayılım modelleri için gerçekleştirilmiştir (Şekil 10). Elde edilen sonuçlarda yayılım modelinin SNR seviyesine doğrudan etkilediği görülmüş fakat mesafeye bağlı olarak davranışı etkilemediği görülmüştür. Analizlerin devamında mesafeye bağlı olarak en iyi frekansların hesaplama işlemleri üç yayılım modeli içinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 12). Elde edilen sonuçlar yayılım modelinin en iyi frekans değerine etkisinin olmadığını göstermiştir.

Bant genişliği, kapasite ve iletim gücü hesaplarında farklı SNR seviyelerinde 3 yayılım modeli kullanılmıştır. Bant genişliğinin SNR seviyesinden ve yayılım modelinden bağımsız (Şekil 13a, Şekil 14a ve Şekil 15a) olduğu ve tüm analizler için aynı değeri gösterdiği gözlemlenmiştir. İletim gücü değeri ise yayılım modelinden doğrudan etkilenmektedir (Şekil 13b, Şekil 14b ve Şekil 15b).

Çok yolluluğun bant genişliği, kapasite ve iletim gücü üzerine etkisi analizlerinde, algılayıcıda alınan yansıyan sinyal sayısı arttıkça yakın mesafelerde hesaplamalarda bozulmalar meydana gelmektedir. Benzer şekilde yüzeyden ve dipten yansıma kayıplarının seviyelerinin analizleri doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir (Şekil 15 ve Şekil 16).

KAYNAKLAR

- [1] Dola, H., Bloma, K., Colina, M., Priora, M. (2017). Characterizing the Underwater Acoustic Communications Channel in Shallow Estuaries and its Application to the Development of a Flexible Wideband Modulation. 4th Underwater Acoustics Conference and Exhibition, 3-8 Eylül, Island of Skiathos, 933-940.
- [2] Stojanovic, M., Preisig, J. (2009). Underwater Acoustic Communication Channels: Propagation Models and Statistical Characterization. IEEE Commun. Mag. 47(1), 84-89.
- [3] Hayward, T. J., Yang, T. C. (2004). Underwater Acoustic Communication Channel Capacity: A Simulation Study. AIP Conference Proceedings, 19-30 Temmuz, Mexico City, 114-121.
- [4] Urick, R. J. (1983). Principles of Underwater Sound. 3rd Ed. McGraw Hill Book Co., New York, 423.
- [5] Etter, P. C. (2018). Underwater Acoustic Modeling and Simulation. CRC press, Florida, 638.
- [6] Leroy, C. C. (1969). Development of Simple Equations for Accurate and More Realistic Calculation of the Speed of Sound in Seawater. *J. Acoust. Soc. Am.*, 46(1B), 216-226.
- [7] Medwin, H. (1975). Speed of Sound in Water: A Simple Equation for Realistic Parameters. *J. Acoust. Soc. Am.*, 58(6), 1318-1319.
- [8] Mackenzie, K. V. (1981). Nine-Term Equation for Sound Speed in the Oceans. *J. Acoust. Soc. Am.*, 70(3), 807-812.

- [9] RBR. (2020). <https://rbr-global.com/products/standard-loggers/rbrduo-ct>, (18.03.2020).
- [10] Richard, P. H. (2010). *Underwater Acoustics: Analysis, Design, and Performance of Sonar*. John Wiley and Sons, West Sussex, 366.
- [11] Knudsen, V. O., Alford, R. S., and Emiling, J. W. (1944). *Survey of Underwater Sound, Report 3. Ambient Noise*. NRDC 1848.
- [12] Wenz, G. M. (1962). *Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources*. *J. Acoust. Soc. Am.*, 34(12), 1936-1956.
- [13] Crouch, W. W. (1972). *Ambient Noise in the Sea*. http://users.ece.utexas.edu/~ling/1A_US1.pdf, Naval Underwater Systems Center, (18.03.2020).
- [14] Urick, R. J. (1982). *Sound Propagation in the Sea*. Peninsula Publishing, California, 226.
- [15] Coates, R. (1989). *Underwater Acoustic Systems*, Wiley, New York, 188.
- [16] What are common underwater sounds. (2018). <https://dosits.org/science/sounds-in-the-sea/what-are-common-underwater-sounds/>, (18.03.2020).
- [17] Readhead, M. L. (2014). *Is Underwater Thermal Noise Useful?*. *Inter-Noise and Noise-Con Congress and Conference Proceedings*, 16-19 Kasım, Melbourne, 4978-4983.
- [18] Özen, S., Öner, M., Çavuşlu, M. A., İlgü, A. C., Tatar, Ö., Başaran, Y. H. (2013). *Simulation and Estimation of Underwater Acoustical Tonals Emanating From Naval Platforms*. 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 24-26 Nisan, Girne, Kıbrıs, 1-4.
- [19] Özen, S., Çavuşlu, M. A., Başaran, Y. H., Öner, M., Tatar, Ö. (2012). *Deniz Platformlarının ve Sualtı Ortamı Akustik Sinyallerinin Benzetimi*. 20st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 18-20 Nisan, Muğla, 1-4.
- [20] Thorp, W. H. (1967). *Analytic Description of the Low-Frequency Attenuation Coefficient*. *J. Acoust. Soc. Am.*, 42:1, 270.
- [21] Stojanovic M., *On the Relationship Between Capacity and Distance in an Underwater Acoustic Communication Channel*, *Proceedings of the First Workshop on Underwater Networks, WUWNET 2006*; Los Angeles, CA, USA. 25 September 2007

Araştırma Makalesi – Research Article

Bir Metal Fabrikası İçin İş Çizelgeleme Yazılımı Hazırlanması

Tuğçe KAÇAR¹, Mehmet Onur OLGUN^{2*}

Geliş / Received: 09/07/2019

Revize / Revised: 20/05/2020

Kabul / Accepted: 21/05/2020

ÖZ

Firmaların günümüz rekabet ortamlarında devamlılığını sürdürebilmeleri için ürettikleri ürün veya hizmeti daha kaliteli ve daha ucuza sunmaları gerekmektedir. Sürekli gelişen üretim teknikleri ve her geçen gün büyüyen üretim sistemleri sebebiyle üretim faaliyetleri karmaşıklaşmış, basit üretim faaliyetlerinin kontrolü zorlaşmıştır. Üretim planlama faaliyetleri, üretilecek olan ürünün belirlenmesi, gerekli olan donanımların saptanması, ürünlerin istenilen sürede ve istenilen miktarda üretimini sağlayacak programlama ve çizelgeleme çalışmalarını kapsamaktadır.

Üretim çizelgeleme problemleri belirli sayıdaki işlerin belirli sayıdaki makineye hangi sıra ile yüklenmesi gerektiğinin belirlenmesidir. Üretim çizelgeleme problemlerinin çözümünde farklı yöntemler mevcuttur. Tüm yöntemlerin ortak amacı mevcut tüm siparişlerin tamamlanması için gerekli toplam akış zamanını en küçükmektir. Bu yöntemlerin çözümleri Gantt diyagramları ile yapılır.

Bu çalışmada üretim çizelgeleme ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Geliştirilen iş çizelgeleme paket programı yazılımı tanıtılmış ve örnek olması amacıyla metal üretimi yapan bir fabrikada uygulanmıştır. Program yazılımında C# dili, veri tabanı olarak Access kullanılmıştır. Programın amacı çizelgeleme işlemlerini kolaylaştırarak firmaların farklı yöntemlerle oluşturulan çizelgeleri de inceleyebilmelerini ve kıyaslama yaparak en doğru yöntemi kullanmalarını sağlamaktır.

Anahtar Kelimeler- *Üretim planlama, Üretim çizelgeleme, Gantt şeması, Programlama, C# yazılımı*

¹ İletişim: tugceekacar@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-3335-314X>)

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi

^{2*}Sorumlu yazar iletişim: onurolgun@sdu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-7568-3235>)

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi

Preperation of Business Scheduling Software for a Metal Factory

ABSTRACT

In order to maintain continuity in today's competitive environment, companies provide products and services that are produced with higher quality and cheaper. Continuous production techniques and production systems technology production plant has become more complex and control of simple production activities has become more difficult. The production planning option is capable of planning and planning the production of the production, available, identified and required equipment, wherever and wherever we want.

Production scheduling problems determine the order in which a certain number of jobs must be loaded on a certain number of machines. There are different methods for solving production scheduling problems. The common goal of all methods is to minimize the total flow time required to complete all existing orders. Solutions of these methods are made with Gantt diagrams.

In this study, general information about production scheduling is given. The developed business scheduling software was introduced and implemented in a metal manufacturing factory for example. C # language is used in the program software and Access is used as database. The aim of the program is to facilitate the scheduling process so that the firms can examine the charts created by different methods and make the comparison and use the most accurate method.

Keywords- *Production planning, Production scheduling, Gantt chart, Programming, C# software*

I. GİRİŞ

Üretim yapan bir fabrikanın temel amacı, müşteri taleplerini zamanında karşılayabilmektir. Bu amaç doğrultusunda mevcut stok miktarları, makine ve çalışan kapasiteleri, makine bakım planları ve çalışan verimlilikleri gibi değerler planlanmalı ve sürekli gelişen teknoloji ile rekabet gücünü koruyabilmek için kontrol altında tutulmalıdır. Üretim planlama ve çizelgeleme problemleri bu noktada ortaya çıkmıştır.

Üretim çizelgeleme, herhangi bir ürünün üretilmesi için gerekli olan hammaddenin ve yarı mamullerin mevcut olan tek ya da çok sayıdaki makinelerde ne zaman ve hangi sırada işleneceğinin belirlenmesidir. Üretim çizelgeleme problemleri, üretim tiplerine göre değişiklik göstermektedir. Çizelgeleme problemleri kademe sayılarına göre dört farklı başlık altında incelenir. Bu başlıklar;

- Tek kademeli, tek makineli problemler,
- Tek kademeli, paralel makineli problemler,
- Çok kademeli problemler ve
- Atölye tipli problemlerdir.

İş çizelgeleme yapılırken birçok öncelik kuralı bulunmaktadır. Bunlardan bazıları:

- İlk gelen ilk hizmet alır (İGİHA),
- Teslim tarihi en yakın olan ilk hizmet alır (TTEY),
- Kalan boşluk süresi en kısa olan ilk hizmet alır (KBSEK),
- İşlem süresi en uzun olan ilk hizmet alır (İSEU),
- İşlem süresi en kısa olan ilk hizmet alır (İSEK),
- Kritik oran (KO),
- Öncelikli müşterinin siparişi ilk hizmet alır (ÖMS),
- Rassal hizmet örnek olarak verilebilir (RH).

Bu çalışma kapsamında üretim çizelgeleme paket program yazılımı yapılmış ve örnek olarak bir metal fabrikasında uygulanmıştır.

Proje kapsamında ilk gelen ilk hizmet alır, teslim tarihi en yakın olan ilk hizmet alır, işlem süresi en uzun olan ilk hizmet alır ve işlem süresi en kısa olan ilk hizmet alır olmak üzere dört farklı öncelik kuralı seçilmiştir.

Projenin uygulama aşamasında metal sektöründen faaliyet gösteren bir firma ile çalışılmıştır. Firma kepenk, pergole gibi ürünler üreten firmalara yarı mamul tedarik etmektedir. Kepenk üretimi için gerekli olan yarı mamullerin akış şemaları kepenk akış şeması içerisinde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çalışma altı ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde makale içeriği hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde daha önce üretim çizelgeleme ile ilgili yapılmış olan çalışmalar incelenmiş ve bazı çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde makalenin ana konusu olan üretim çizelgeleme yöntemleri ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde çalışmanın uygulandığı fabrika tanıtılmış ve yazılan program hakkında bilgiler sunulmuştur. Beşinci bölümde metal sektöründe yer alan ve esnek atölye tipli üretimin gerçekleştiği bir işletmede işlerin ve bu işlere ait operasyonların makinelere hangi sırayla atanması gerektiği ve atanan son siparişin tamamlanma zamanının en düşük olduğu atamanın bulunarak siparişlerin makinelerde hangi sırayla işlenmesi

gerektiğinin bulunması sağlanmıştır. Altıncı bölümde ise çalışmanın kazanımları ve programın uygulanması ile elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.

II. BİLİMSEL YAZIN TARAMASI

Bu çalışma kapsamında çizelgeleme ile ilgili bilimsel makale ve çalışmalar incelenmiştir. Çizelgeleme yöntemleri sınıflandırılmış, uygulaması yapılan atölye tipi çizelgeleme yöntemi hakkında yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Aydemir [1], atölye tipi çizelgeleme problemlerindeki öncelik kurallarını kullanarak genetik algoritma yaklaşımı ile ilgili bir simülasyon çalışması yapmıştır. Çalışmasında iş akış planlarında yer alan işlemlerin, son iş bitene kadar geçen süreyi en küçükleyecek bir yazılım geliştirmiştir. Geliştirilen yazılımı kalorifer kazanı imalatı yapan bir işletme için uygulamıştır.

Sarıkaya [2], otomotiv sektöründeki bir yan sanayi işletmesinin üretim hattını inceleyerek üretim merkezleri üzerinde simülasyon modellerini araç olarak kullanmış ve bu konu üzerinden analizler yapmıştır. Elde ettiği sonuçları neticesinde işlem sıralarına bağımlı olan ve hazırlık süreleri nedeniyle zor ve karmaşık yapıları çizelgeleme problemlerini incelemiştir.

Candan [3], çalışmasında esnek üretim sistemlerinde çizelgeleme problemleri için toplam akış zamanını en aza indirgeyecek etkenlerin belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır.

Altındaş [4], yaptığı çalışmada üretim çizelgeleme süreçlerindeki problemlerin tanımlaması, çözüm yöntemlerinin araştırılması, hangi sınıflandırmaya ait olduğunun belirlenmesi, uygun olan çözüm yönteminin seçilmesi üzerinde durmuştur. Çalışmasının uygulama bölümünde mobilya sektöründen bir firma ile çalışmış, Lekin paket programını kullanarak bir çözüm elde etmiştir.

Doğan [5], hazırlık sürelerinin olduğu sıralamaya bağlı permütasyonlu ve çok amaçlı akış tipi üretim problemlerini ele alarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. Ele aldığı problemlerin çözümü için problemin çok amaçlı doğası ve çok amaçlı permütasyonlu akış tipi olmak üzere iki yaklaşımı önermiştir.

Eren ve Güner [6], tek ve paralel makineli üretim sistemlerinde çok ölçütlü çizelgeleme problemleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmalarında paralel makineli üretim sistemlerinin de tek makineli üretim sistemlerinde olduğu gibi tek bir işleme ihtiyaç duyduklarını belirtmişlerdir. Ancak bu üretim sistemlerinde gelen işlerin m paralel işleyicinin herhangi birinde yapılabileceğini söylemişler ve çalışma kapsamına dahil etmişlerdir.

Esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde bu problemin ilk olarak 1990'lı yıllarda Brucker ve Schile tarafından ele alındığı görülmüştür. Brucker ve Schile [7] çalışmasında, çok amaçlı makineler ile kurulmuş fabrika ortamlarında iki işin çizelgelenmesi için polinomsal grafik algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritmadaki amaç en son işin tamamlanma zamanını en küçükleyerek çizelge modelini oluşturmaktır. Ancak geliştirdikleri bu algoritma üç ve daha fazla sayıda iş içeren modeller için etkili olmamıştır. Esnek atölye tipi ile ilgili yapılan bu çalışmadan sonra problemlerin çözüm performansını arttırabilmek için melez yöntemler geliştirilmeye başlanmıştır.

Esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümlerinde işlerin sıralanması ve ilgili makinelere atanması iki önemli problem olarak ortaya çıkmıştır. Bu problemlerin çözümü iki yaklaşımla sınıflandırılmıştır. Bunlar; hiyerarşik yaklaşım ve bütünlük yaklaşımıdır. Hiyerarşik yaklaşımda ana problem alt problemlere bölünerek çözüme gidilmektedir. Bu yaklaşımdan dolayı problem kolaylaştırılmaktadır. Pauli [8] ve Brandirmarte [9] çalışmaları için bu yaklaşımı kullanmıştır. Bütünlük yaklaşımında ise en iyi sonucu elde edebilmek için çözüm zorlaştırılmaktadır. Gambardella ve Mastrolilli [10], Bagheri ve diğerleri [11] çalışmalarında bu yaklaşımı konu almışlardır.

Pauli [8], yaptığı çalışmada esnek üretim sistemlerindeki problemlerden bahsetmiştir. Bu çalışmayı yaparken tüm işler içerisindeki son işin tamamlanma zamanını en küçüklemeyi amaçlamıştır.

Brandimarte [9], hiyerarşik yaklaşım modeli kapsamında dağıtım kurallarını kullanarak problem çözümler için tabu arama yöntemini geliştirmiştir. Optimum çözümü bulandıran iterasyon sayısından sonra yeni bir çizelgeleme modeli oluşturmak için her işlem bir makineden diğere makineye aktarılmıştır. Brandimarte kullandığı yöntem için tek yöllü bilgi akışlı hiyerarşik yaklaşımlardan farklı olarak iki yöllü bilgi akışı sağladığını söylemiştir. Bu nedenle bu yöntemin farklı amaçlar için de uygulanabileceğini belirtmiştir.

Gambardella ve Mastrolili [10], bütünlük yaklaşım ile problemleri çözebilmek için meta-sezgisel en iyileme yöntemlerini kullanmışlardır. Bu yöntem ile ilgili komşuluk fonksiyonları önermişlerdir. Önerdikleri bu fonksiyon ile diğere sezgisel çalışmalara göre daha iyi sonuçlara ulaşmışlardır.

Bagheri ve diğere [11], çalıştıkları esnek atölye tipli çizelgeleme problemlerinde son işin tamamlanma zamanının en küçüklemesi için yapay bağışıklık tabanı ile bütünlük bir algoritma ortaya koymuşlardır. Bu algoritmanın başlangıç çözümünde farklı stratejiler kullanılmıştır. Yeni bireyler oluşturmak amacı ile farklı mutasyon operatörleri tanımlamışlardır. Oluşturdukları algoritmaları literatürdeki problem setleri ile çözmüş ve doğru sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Kacem ve diğere [12], atölye tipli çizelgeleme problemlerinin çözümüne iki yeni yaklaşım getirmişlerdir. Bunlar kısmi esneklik ve tam esnekliktir. Esnek atölye tipli çizelgeleme problemlerinde bu yaklaşımlar kullanılmıştır. Kısmi esnek atölye tipli çizelgeleme problemlerinde her işlem özdeş ya da özdeş olmayan makineler alt kümesinde makine özelliklerine göre aynı veya farklı zamanlarda işlem görebilmektedir. Tam esnek atölye tipli çizelgeleme problemleri ise işlemlerin tüm makinelere makine özelliklerine göre aynı veya farklı zamanlarda işlem görebilmektedir. Tam esnek atölye tipli çizelgeleme problemlerinde işlemler, herhangi bir makineye rastgele atanabilmektedir. Fakat kısmi esnek atölye tipli çizelgeleme problemlerinde böyle bir atama mümkün değildir.

III. YÖNTEM

Programlama dillerinden C# kullanılmış olup veri tabanı programı olarak Access seçilmiştir. Üretim planlama bölümlerinde sıklıkla kullanılan üretim çizelgeleme yöntemlerinden akış tipi makine çizelgeleme seçilmiştir. Bu bölümde üretim çizelgeleme ile ilgili konulardan bahsedilecektir. Üretim çizelgeleme problemlerinin genel sınıflandırılması ve çizelgelemede kullanılan öncelik kuralları ile ilgili gerekli bilgilere ve açıklamalara yer verilecektir.

A. Üretim Çizelgeleme

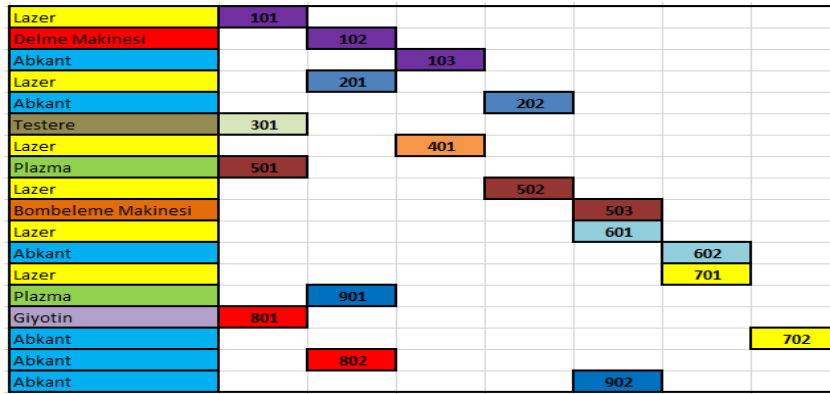
Üretim çizelgeleme problemleri için tek tip bir sınıflandırma yapılamaz. Bu nedenle çeşitli sınıflandırma şekilleri de anlatılacaktır. Üretim çizelgeleme problemlerinin zorluğunun ve karmaşıklığının nasıl değiştiği ve zorluğu yüksek problemlerde kullanılan öncelik yöntemleri özetlenecektir.

Çizelgeleme kuramı; sağlık, spor, bilişim, lojistik gibi diğere sektörlerdeki sıralama problemlerinde uygulanabilmektedir. Pinedo [13], çalışmasında üretim çizelgeleme faaliyetlerinin; üretim merkezlerine, kısıtlı kaynakların ve zamanın dikkate alınarak hangi sırayla atanmasına karar vermede yardımcı bir süreç olarak birçok ülkede düzenli olarak kullanıldığını bahsetmiştir. Büyüksünetçi [14], ise üretim çizelgeleme, belirli bir hedef doğrultusunda belirli bir zaman içerisinde ve belirli kısıtlar altında işlerin bitirilebilmesi için sınırlı olan kaynaklara atanması süreci olarak tanımlamıştır.

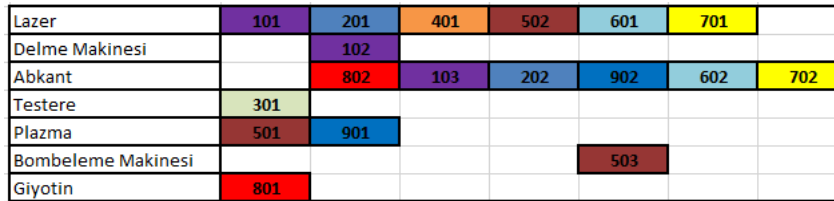
Üretim çizelgeleme ve sıralama sürecinde öncelikle elimizde hangi üretim merkezlerinden ne kadar bulunduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Her işlemin bu üretim merkezlerinden ne kadarına ihtiyaç duyduğunu, bu işlemlerin tamamlanması için üretim merkezlerinde ne kadar birim işlem süresinin gerektiğini ve bu işleme en erken veya en geç ne zaman başlanabileceği gibi bilgilerin bilinmesi ve kayıt altında tutulması gerekmektedir. Ayrıca siparişler arasındaki öncelik ilişkileri gibi teknolojik kısıtların da bilinmesi gerekmektedir.

Çizelgeleme, firmaların karar verme işlemlerini kolaylaştırmaktadır. Üretim sektörlerinde makine yüklemelerinin nasıl olması gerektiği, hangi siparişin daha önce yapılması gerektiği gibi konularda öne çıkarken hizmet sektöründe örneğin otogarlar için otobüslerin giriş çıkışlarını kontrol altında tutulabilmektedir.

Çizelgelerin zaman ekseninde gösterimi için Gantt diyagramlarından faydalanılır. Gantt diyagramı işlem bazlı ve makine bazlı olmak üzere ikiye ayrılır. İşlem bazlı Gantt diyagramında makineler yerine işlere odaklanır. Herhangi bir ürünün üretim aşamasındaki her işlemin üretim merkezlerinde ne kadar süre harcadıkları, üretim merkezleri arasındaki izledikleri rota ve hangi üretim merkezinde ne zaman işlem görmeye başlayıp tamamlandığı incelenmektedir. Makine bazlı Gantt diyagramında ise işlemlerin yanı sıra makinelere odaklanılır. X ekseninde zaman, Y ekseninde ise makineler bulunur. Zamana göre makine yükleme işlemi gerçekleştirilir. Bu çalışmada İşlem bazlı Gantt diyagramı ile çizelgeleme metodu üzerinde çalışılmıştır. İşlem bazlı ve makine bazlı Gantt diyagramı çizelgeleri daha iyi anlaşılması için temsili olarak Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. İşlem bazlı Gantt diyagramı



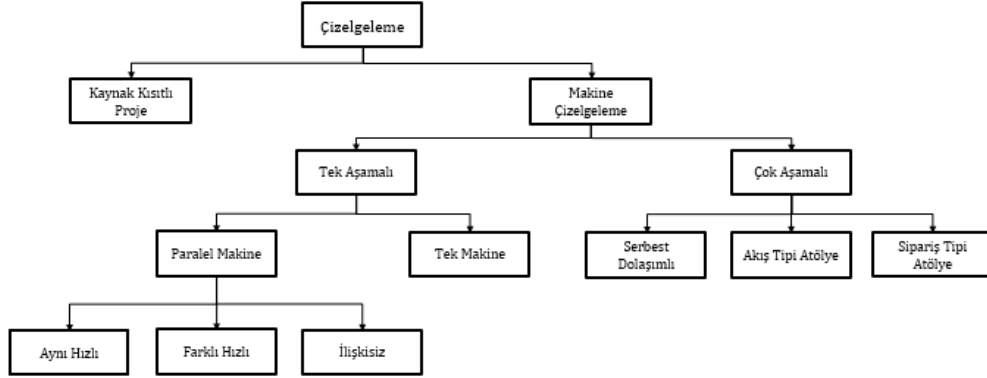
Şekil 2. Makine bazlı Gantt diyagramı

Çizelgeleme problemleri için çeşitli sınıflandırma tipleri mevcuttur. Bunlar;

1. Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme ve makine çizelgeleme,
2. Deterministik makine çizelgeleme ve stokastik makine çizelgeleme olarak incelemektedir.

Kaynak kısıtlı makine çizelgeleme problemleri, üretim çizelgeleme problemlerinin en genel halidir. Makine, enerji, para ve personel kısıtları kaynak olarak göz önünde bulundurulurken makine bekleme süreleri en küçüklüğe çalışılarak toplam sürenin minimizasyonu sağlanmaya çalışılmaktadır. Dolayısıyla maliyetler en küçüklenecektir. İşlemler arası bekleme süreleri çizelgelemede kullanılan öncelik yöntemleri ile ilişkilidir. Çizelgeleme yapılırken ana amaç her kaynağın kapasitesini aşmadan ve öncelik yöntemlerine uyularak makinelere atanmasıdır.

Eğer incelenen veriler, serbest kalma zamanları ve işlem süreleri gibi, tam doğrulukla biliniyor ise deterministik makine çizelgeleme, bilinmiyor fakat olasılıklı olarak tahmin edilebiliyor ise stokastik makine çizelgeleme problemi olarak adlandırılırlar. Çizelgeleme problemlerinin genel sınıflandırılması Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Çizelgeleme problemlerinin genel sınıflandırılması [15]

Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde, bir projenin oluşturulması için kısıtlı kaynaklar kullanılır. Öncelik kuralları da göz önüne alınarak en iyi çizelgeleme modeli oluşturulur. Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri tanımlanırken bazı varsayımlarda bulunulur. Bu varsayımlar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır;

- Faaliyet süreleri deterministiktir.
- Faaliyetlerin gerçekleştirilmesi için gerekli birim zaman kaynak kullanımı sabittir.
- Herhangi bir faaliyet için atanan kaynak o faaliyette kullanıldığı süreç içerisinde iken başka faaliyetler tarafından kullanılamaz.
- Kaynak kullanımına başlayan faaliyet yarıda kesilemez veya ara verilemez.
- Başlatılan faaliyetler iptal edilemez.

Makine çizelgeleme problemleri tek ve çok aşamalı problemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Tek aşamalı problemlerde her işin tek bir işlemden oluştuğu kabul edilirken çok aşamalı makine çizelgeleme problemlerinde bir işin yapılması için çok sayıda işlemin yapılması gerektiği kabul edilir.

Tek aşamalı makine çizelgeleme problemleri kendi aralarında paralel makineli ve tek makineli olarak ikiye ayrılır. Tek aşamalı tek makineli problemler, çizelgeleme problemlerinin en basit halidir. Tek aşamalı paralel makineli problemlerde tek işlemde oluşan işlerin gerçekleştirilmesi için birden fazla makine bulunmaktadır. Paralel makineli problemler de tiplerine bağlı olarak üç farklı dala ayrılmıştır. Bunlar; aynı hızlı paralel makineler, farklı hızlı paralel makineler ve ilişkisiz paralel makinelerdir. Aynı hızlı paralel makinelerde herhangi bir işin işlem süresi tüm makinelerde aynıdır. Farklı hızlı paralel makinelerde makine hızları işlerin özelliklerine bakılmaksızın farklılık göstermektedir. Örneğin herhangi bir sac kesme işlemi giyotin makinesinde üç birim süreye ihtiyaç duyarken, lazer makinesinde beş birim süreye ihtiyaç duyabilir. İlişkisiz paralel makinelerde ise farklı hızlara sahip paralel makineler ile özdeş paralel makilerin genel durumudur.

Çok aşamalı makine çizelgeleme problemleri günümüzde birçok firma tarafından kullanılan çizelgeleme problemlerindedir. Bu problemler izledikleri rotalara göre üçe ayrılmaktadır. Bunlar; serbest dolaşımli, akış tipi atölye ve sipariş tipi atölyedir. Çok aşamalı serbest dolaşımli makine çizelgeleme problemlerinde ürünün üretilmesi için gerekli işlemler arasında öncelik ilişkisi bulunmamaktadır. Akış tipi atölye problemlerinde n adet iş m adet üretim merkezinde işlem görürken tüm işler belirli bir rotayı takip etmektedir. Sipariş tipi atölye çizelgeleme de ise akış tipi atölye çizelgelemeden farklı olarak rotalama kısıtı bulunmamaktadır.

Bu yöntemlerin yanı sıra işlerin geliş şekline göre statik ve dinamik makine çizelgeleme problemleri olarak da bir ayırım yapılabilmektedir. Eğer çizelgelenecek iş kümesi zamana bağlı olarak değişmiyor ise problem statik, değişiyorsa dinamik olarak belirtilmektedir.

Bu çalışmada uygulama esnasında çalışılan fabrikada ürünlerin üretimleri için belirli rotalar mevcuttur. Bu nedenle çok aşamalı akış tipli makine çizelgeleme problemlerine uyum sağlamaktadır.

B. Çizelgelemede Kullanılan Öncelik Kuralları ve Kabuller

Firmalarda en çok kullanılan öncelik kuralları aşağıda listelenmiştir:

- İlk giren ilk çıkar,
- Erken teslim tarihli,
- Kalan işlem zamanlı,
- Kısa işlem zamanlı,
- Uzun işlem zamanlı,
- Toplam işlem zamanlı,
- Çok operasyonu kalan öncelik kuralı,
- Az operasyonu kalan öncelik kuralı,
- Dinamik değişkenli,
- Rassal öncelik kuralıdır.

Çalışma kapsamında bu kurallardan ilk giren ilk çıkar, erken teslim tarihli, kısa işlem zamanlı, uzun işlem zamanlı olmak üzere dört tanesi üzerinde durulmuştur.

Akış tipli çizelgeleme problemlerinin çözümünde bazı kabuller yapılır. Bu kabuller;

- Aynı işin iki farklı operasyonu aynı anda yapılamaz.
- Başlanan iş eksik bırakılamaz.
- Herhangi bir iş için önceden rezervasyon yapılamaz.
- Bir makinede yeni bir işin başlayabilmesi için önceki işin bitmiş olması gerekir.
- Hiçbir makine aynı anda iki işi yapamaz.
- Hazırlık süreleri çizelgelemeden bağımsızdır ve makineler arası taşıma süreleri ihmal edilir.
- Makinelerin boşta kalma süreleri olabilir.
- İş sayısı bilinmemektedir.
- Makine arızalanmaları göz ardı edilir.
- İşlem zamanları bilinmemektedir.
- Makine sayısı bilinmemektedir.

IV. ARAŞTIRMA BULGULARI

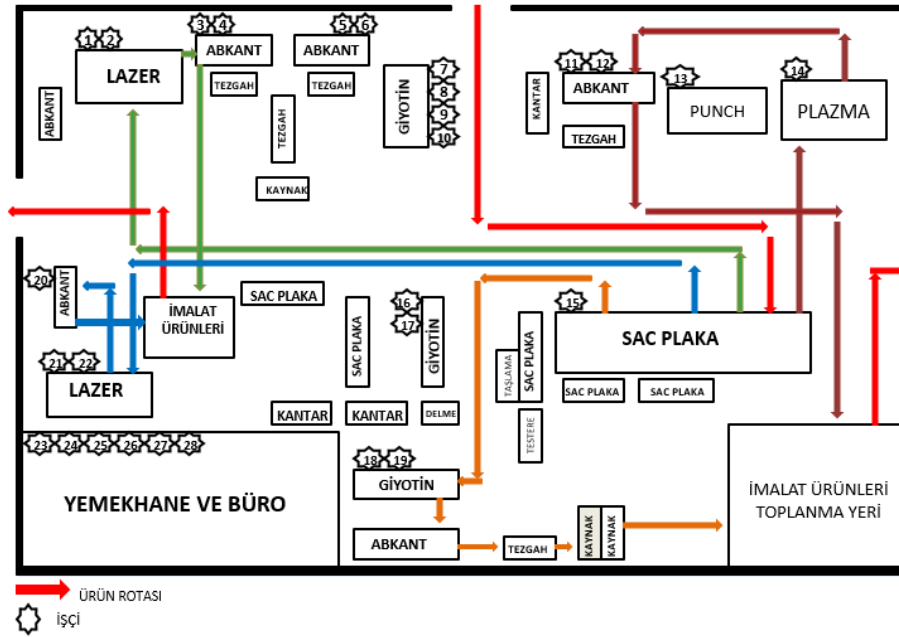
Bu bölümde çalışmanın yapıldığı firma hakkında bilgiler verilmiş, firmanın yerleşim planı çizilmiştir. Mevcut ürünleri ürün kodları ile birlikte istenmiş ve her ürün için akış şemaları ve zaman etüdü çalışmaları çizilmiştir. Bu veriler veri tabanına kaydedilerek mevcut siparişleri kayıt altına alınmıştır. Bu siparişler üzerinden çizelgeleme işlemleri yapılacaktır. Bu bölümde aynı zamanda yazılan program ve uygulama ile ilgili bilgiler verilmiştir.

A. Firma Bilgileri

Bu bölümde firma ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Firmanın ürettiği ürünler ve akış şemaları, birim süreleri ile birlikte paylaşılmıştır.

Firma makine, mobilya ve mutfak, otomatik kepenk, otomatik pergole, pano medikal ve tıbbi cihaz imalatçıları, sanayi tipi buzdolabı üreticileri, inşaat firmaları, aydınlatmacılar, reklam ve tabelacılar gibi birçok müşteriye parça ve ürün hizmeti vermektedir.

Firmanın yerleşim planı Şekil 4’de gösterilmiştir. Her tezgâhta kaç kişi çalıştığı ve ürün rotaları şekil üzerinde belirtilmiştir.



Şekil 4. Firma yerleşim planı

Sac metal parçaların kesilmesi ve delinmesi, bükme kalıplamayla şekillendirilmesi, kaynak yaparak birleştirilmesi ve ortaya çıkan ürünlerin boyanarak son haline getirilmesiyle kaliteli bir hizmet sunulması hedeflenmiştir. Firmada otuza yakın personel çalışmaktadır. Firmanın ürettiği ürünlerden bazıları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ürün listesi

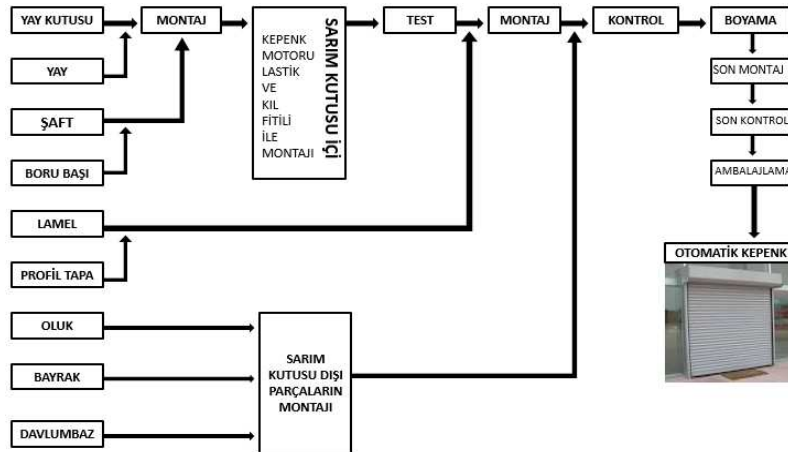
No	Ürün Kodu	Ürün Adı	Yapıldığı Malzeme	Satış Miktarı
1	YYKTS01	Yay Kutusu	Sac	%65-%70
2	BYRK01	Bayrak	Sac	%17-%25
3	BRBS01	Boru Başı	Sac	%31-%35
4	DVLMBZ01	Davlumbaz	Sac	%20-%30
5	PRFTP01	Profil Tapa	Sac	%55-%70
6	OLK01	Oluk	Sac	%68-%75
7	YY01	Yay	Çelik	%85-%96
8	LML01	Lamel	Sac	%75-%84

Üretilen ürünlerden yay, şaft, profil tapa, bayrak, oluk, lamel, yay kutusu ve boru başı kepenk üretiminde kullanılmaktadır. Firma ürünlerini hem yarı mamul olarak satmakta hem de montajını yapıp kepenk olarak satmaktadır. Firmada üretilen bu ürünlerin resimleri Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Ürün resimleri

Kepenک üretimi için akış şeması Şekil 6’da gösterilmiştir. Kepenk üretiminde kullanılan yarı mamullerin üretim aşamaları daha sonra gösterilecektir.



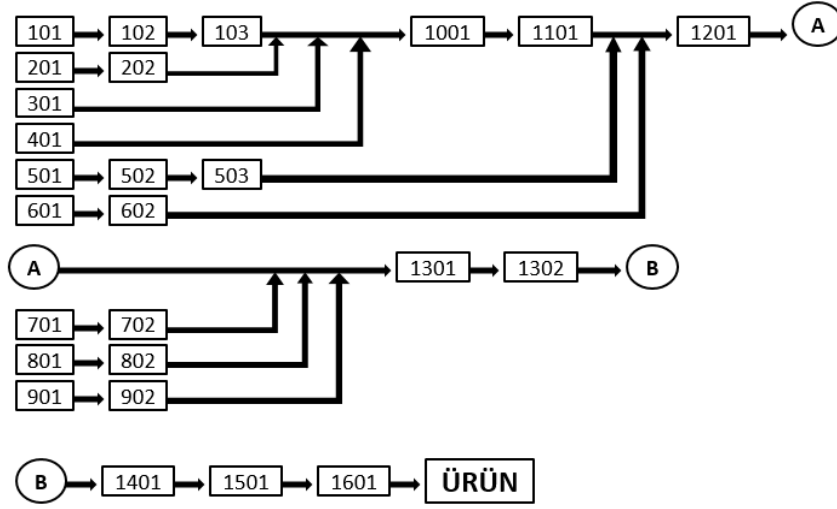
Şekil 6. Kepenk üretimi akış şeması

Firma da zaman etüdü çalışması yapılarak birim zamanlar hesaplanmıştır. Tablo 2’de tutulan süreler gösterilmiştir.

Tablo 2. İmalat adımları işlem süreleri

İŞLEM NO	İMALAT ADIMLARI		İŞ İSTASYONU	SÜRE 1 (sn)		SÜRE 2 (sn)		SÜRE 3 (sn)	
				H.S.	İ.S.	H.S.	İ.S.	H.S.	İ.S.
100	YAY KUTUSU								
	101	Sac Kesme	Lazer	324,70	43,90	358,30	40,40	316,90	42,10
	102	Sac Delme	Delme Makinesi	248,90	11,30	247,90	13,60	246,70	12,50
	103	Sac Kıvrma	Abkant	257,50	128,40	261,50	122,30	249,10	131,6
200	YAY								
	201	Çelik Kesme	Lazer	403,40	52,60	412,50	49,60	421,30	51,60
	202	Çelik Kıvrma	Abkant	167,10	134,90	163,20	126,20	175,50	125,10
300	ŞAFT								
	301	Boru Kesme	Testere	457,20	521,40	462,60	547,40	432,80	537,40
400	BORU BAŞI								
	401	Sac Kesme	Lazer	154,20	84,80	148,10	81,60	160,40	78,60
500	LAMEL								
	501	Sac Kesme	Plazma	320,8	103,6	312,5	105,3	347,1	101,9
	502	Sac Şekillendirme	Lazer	258,6	245,5	251,3	241,1	264,8	247,7
	503	Sac Bombeleme	Bombeleme Mak.	186,5	201,3	179,3	203,5	192,7	197,6
600	PROFİL TAPA								
	601	Sac Kesme	Lazer	329,7	213,9	361,8	225,4	314,3	216,8
	602	Sac Kıvrma	Abkant	276,2	143,1	268,7	137,6	295,7	157,8
700	OLUK								
	701	Sac Kesme	Lazer	243,3	201,5	247,6	193,3	251,9	215,3
	702	Sac Kıvrma	Abkant	186,7	105,1	179,8	107,5	175,1	103,9
800	BAYRAK								
	801	Sac Kesme	Giyotin	164,9	1201,8	174,9	1212,2	171,5	1215,7
	802	Sac Kıvrma	Abkant	233,3	86,2	251,4	94,4	227,3	81,2
900	DAVLUMBAZ								
	901	Sac Kesme	Plazma	329,6	75,9	348,5	71,8	367,3	63,9
	902	Sac Kıvrma	Abkant	269,8	92,6	261,5	86,5	254,8	97,7
1000	SARIM KUTUSU								
	1001	Montaj	Kaynak Makinesi	679,2	2795,4	667,9	2862,3	691,4	2791,7
1100	TEST								
	1101	Sarı Kontrolü	Test	607,5	736,3	615,7	743,5	603,2	756,9
1200	ARA MONTAJ								
	1201	Ara Montaj	Kaynak Makinesi	824,4	3796,7	851,8	3906,1	864,6	3754,2
1300	BOYAMA								
	1301	Toz Boyama	Boya Kabini	472,1	3600	465,6	3600	438,8	3600
	1302	Fınlama	Fınn	276,7	2700	261,4	2700	254,7	2700
1400	SON MONTAJ								
	1401	Kapakların Montajı	Kaynak Makinesi	1247,6	647,1	1235,8	654,5	1231,5	637,7
1500	SON KONTROL								
	1501	Son Kontrol	Kontrol	305,5	601,8	298,6	596,9	314,3	607,7
1600	AMBALAJLAMA								
	1601	Ambalajlama	Ambalajlama	201,3	509,7	218,4	512,1	209,9	496,5

Ayrıntılı iş akış şeması işlem numaraları ile birlikte çizilmiş ve Şekil 7’de gösterilmiştir.



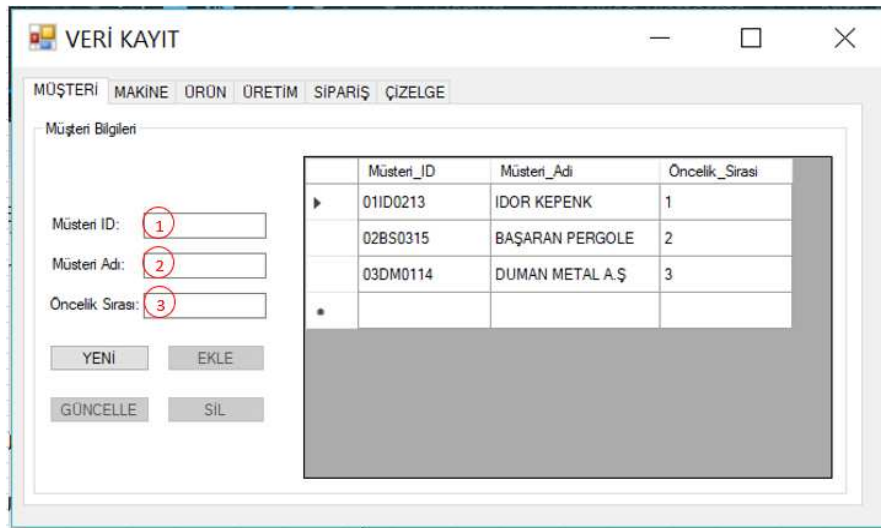
Şekil 7. Ayrıntılı iş akış şeması

Ürünlerin üretimi için gerekli birim süreler Access dosyasına aktarılarak program için veri olarak kullanılmıştır.

B. Yazılımı ve Uygulama

Çizelgeleme yapmak zor ve karmaşık bir iştir. Bunu basitleştirmek amacı ile bir çizelgeleme paket programı yazılımı yapılmıştır. Program iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm (Veri Kayıt) 6 sekmeden oluşmaktadır ve veri tabanı işlemlerini içermektedir. Firmalar çizelgeleme yapmayacak olsa dahi bu bölümü kullanarak veri saklama işlemi gerçekleştirebilir. İkinci bölüm (Çizelgeleme) ilgili verileri kullanarak Gantt şeması ile çizelgeleme işlemi gerçekleştirmektedir.

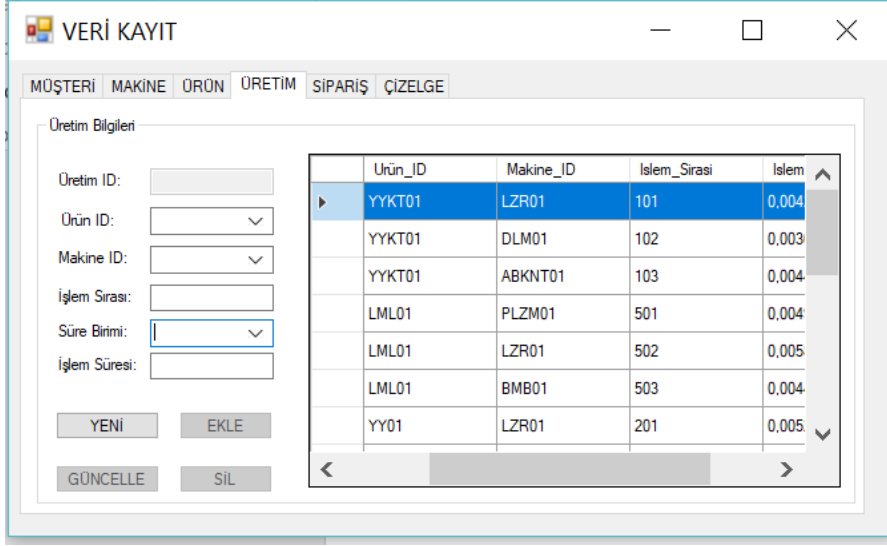
1) *Veri Kayıt Bölümü*: Müşteri, makine, ürün, üretim, sipariş ve çizelge sekmelerinden oluşmaktadır. Müşteri, makine ve ürün sekmelerinin çalışma prensipleri aynıdır. Müşteri sekmesi için tasarım ekranı Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu bölümde müşteri ile ilgili veriler kayıt altına alınmaktadır.



Şekil 8. Müşteri sekmesi tasarım ekranı

Firma yeni bir müşteri ile anlaşma yaptığında Müşteri ID, Müşteri Adı ve firma için bir öncelik belirtiyor ise Öncelik Sırası verilerini sırası ile 1, 2 ve 3 numaralı kutulara yazarak EKLE butonuna tıklamalıdır. Mevcut bir müşteri üzerinde bir değişiklik yapması gerekiyor ise ilgili müşteriyi tablodan seçerek istediği bölümü değiştirmeli daha sonra GÜNCELLE butonuna tıklamalıdır. Son olarak anlaşması fes edilen müşterileri veri tabanında silmek için tablodan müşteriyi seçtikten sonra SİL butonuna tıklayarak işlemi gerçekleştirebilir.

Makine ve ürün sekmelerinde de aynı şekilde makine ve ürün bilgileri kayıt altına alınmaktadır. Üretim ve sipariş sekmelerinin çalışma prensipleri de benzerdir. Ancak eklenmesi gereken veriler farklılık gösterir. Şekil 9'da üretim sekmesi kullanıcı ekranı verilmiştir.

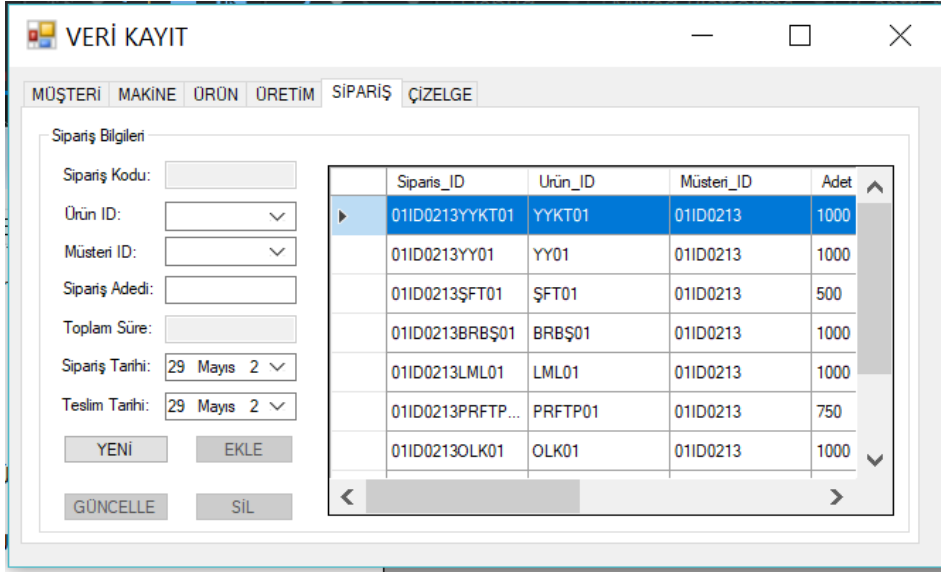


Ürün_ID	Makine_ID	İşlem_Sırası	İşlem
YYKT01	LZR01	101	0,004
YYKT01	DLM01	102	0,003
YYKT01	ABKNT01	103	0,004
LML01	PLZM01	501	0,004
LML01	LZR01	502	0,005
LML01	BMB01	503	0,004
YY01	LZR01	201	0,005

Şekil 9. Üretim sekmesi tasarım ekranı

Üretim sekmesinde bir ürünün üretilmesi için hangi aşamalardan geçtiği kayıt altına alınmaktadır. Kullanıcı öncelikle Ürün ID kutusundan hangi ürünün üretimini kayıt altına alacağını seçer. Daha sonra bu ürünün üretilmesi için gerekli olan makinenin ID numarasını seçer ve bu makinedeki işleminin hangi sırada gerçekleşeceğini İşlem Sırası kutusuna yazar. Bu işlemin ne kadar sürdüğü ve zaman birimi olarak ne kullanıldığı verileri girilerek EKLE butonuna tıklanır. Gantt şeması oluşturulurken işlem sırası, süre birimi ve işlem sürelerinin doğruluğu önem arz etmektedir. Yanlış kaydedilen verilerin tablodan seçilerek güncelleme yapılması veya silinerek yeniden kaydedilmesi gerekmektedir.

Gelen siparişlerin kayıt altına alınması için Sipariş sekmesi kullanılır. Sekmenin kullanıcı ara yüzü Şekil 10'da gösterilmiştir.

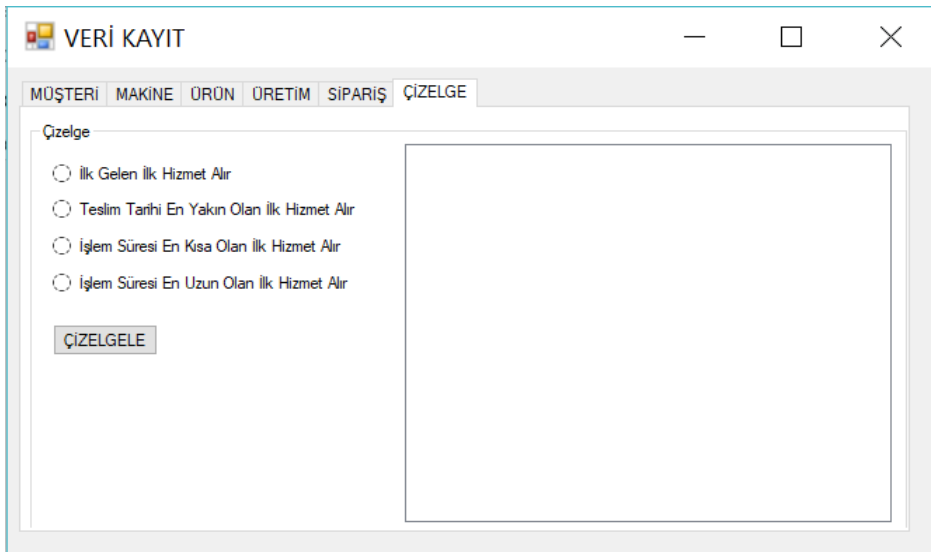


Siparis_ID	Ürün_ID	Müşteri_ID	Adet
01ID0213YYKT01	YYKT01	01ID0213	1000
01ID0213YY01	YY01	01ID0213	1000
01ID0213ŞFT01	ŞFT01	01ID0213	500
01ID0213BRBŞ01	BRBŞ01	01ID0213	1000
01ID0213LML01	LML01	01ID0213	1000
01ID0213PRFTP...	PRFTP01	01ID0213	750
01ID0213OLK01	OLK01	01ID0213	1000

Şekil 10. Sipariş sekmesi tasarım ekranı

Kullanıcı sipariş verilen ürünün ID numarasını ve hangi müşterinin siparişi olduğuna dair müşteri ID numarasını seçer. Daha sonra sipariş adedi, sipariş tarihi ve teslim tarihi bilgilerini doldurur. Toplam sipariş süresi sistem tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Bu hesap için öncelikle seçilen ürünün üretim bilgilerinden toplam birim süre hesaplanır. Daha sonra girilen sipariş adedi ile birim süre çarpılarak toplam süre bulunur. Sipariş kodu bize ürün ve müşteri hakkında bilgi vermektedir. Veriler eksiksiz bir biçimde girildikten sonra EKLE butonuna tıklanarak verilerin sisteme aktarılması sağlanır. Yanlış eklenen veya değiştirilmesi gereken veriler tablodan seçilerek ilgili yer değiştirilmeli daha sonra GÜNCELLE butonuna tıklanmalıdır. Silinmesi gereken veriler ise tablodan seçilerek SİL butonuna tıklanır.

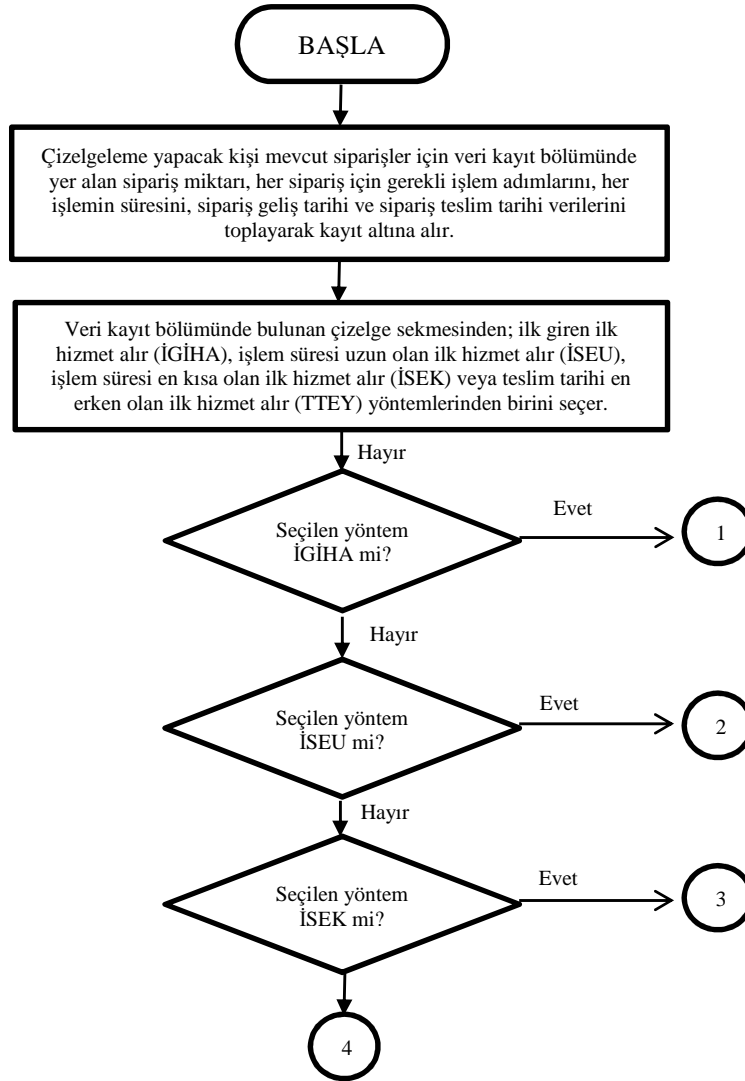
Veri kayıt bölümünün son sekmesi aynı zamanda çizelgeleme bölümü ile bağlantı sağlar. Şekil 11’de bu sekmenin kullanıcı ara yüzü gösterilmiştir.



Şekil 11. Çizelge sekmesi tasarım ekranı

Çizelgeleme işlemi yapacak olan kişi kullanmak istediği yöntemi seçerek ÇİZELGELE butonuna tıklamalıdır. İstenen özel bir çizelgeleme yöntemi yoksa tüm yöntemler kullanılarak en kısa üretim süresine sahip olan çizelgeleme yöntemi tespit edilir. Daha sonra tespit edilen çizelgeleme yöntemine göre ürünlerin üretimine başlanır.

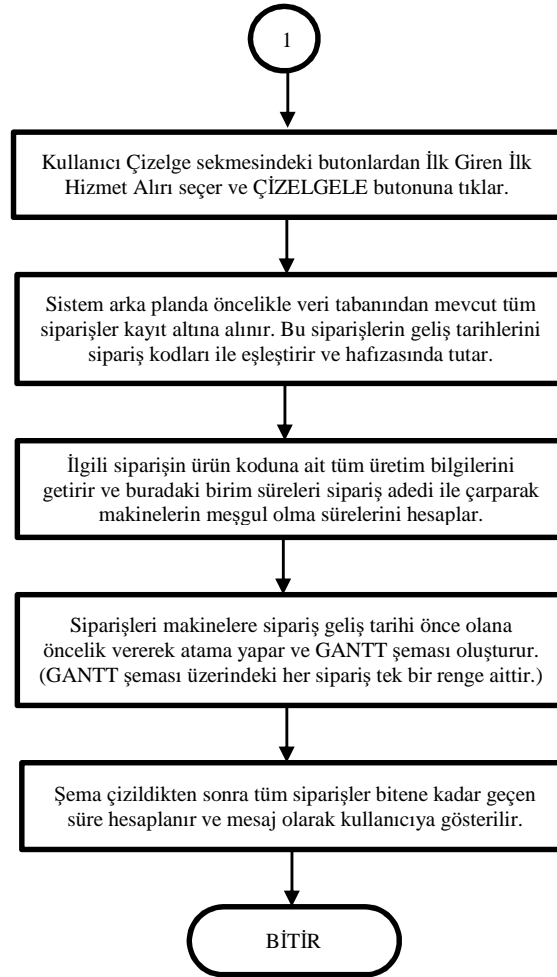
2) *Çizelgeleme Bölümü*: Çizelgeleme dinamik bir iştir. Bu nedenle yerleştirme işlemi kurallara dayandırılarak yapılır. Çizim yapılırken ileri doğru çizelgeleme sabit kabul edilmiş, öncelik kuralı seçimi kullanıcıya bırakılmıştır. Çizelgeleme bölümü ana çalışma prensibi Şekil 12’de gösterilmiştir. Çizelgeleme yapılırken kullanılan veriler programın alt yapısında kullanılan veri tabanından çekilir. Bu veri tabanında müşterilerin, firmada bulunan makinelerin, firmanın ürettiği ürünlerin ve her ürünün nasıl üretildiği ile ilgili üretim aşamalarının bilgileri bulunur. Yeni bir sipariş verildiğinde sistem öncelikle bu siparişin hangi müşteriye ait olduğunu ve hangi ürünü sipariş ettiğini sistemden çekerek ürünün üretim aşamalarının bağlantısına ulaşır. Yeni sipariş kullanılan çizelgeleme yöntemine göre uygun yerlere yerleştirilerek üretime alınır. Yöntemler ile ilgili ayrıntılı çalışma prensipleri Şekil 12’nin devamı niteliğinde paylaşılacaktır.



Şekil 12. Çizelgeleme bölümü ana çalışma prensibi

İlk giren ilk hizmet alır yönteminde gelen siparişlerin üretim merkezine geliş sıralarına (sipariş geliş tarihi) göre makine yükleme işlemi gerçekleştirilir. Özellikle dinamik atölye ortamlarındaki işlere, daha adaletli olabilmek amacı ile kullanılır. İmalat ortamlarında daha çok, hizmet sektörlerinde müşteriye eşit davranabilmek için kullanılan bir yöntemdir.

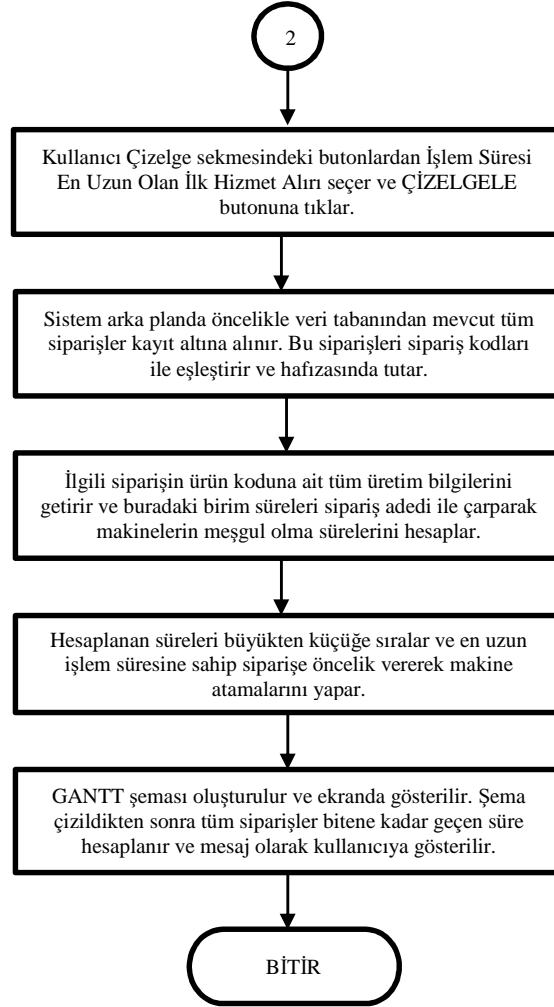
Sistemin çalışma prensibini anlayabilmek amacı ile ilk giren ilk çıkar (İGİHA) kuralının program içerisindeki döngüsü Şekil 13’de gösterilmiştir.



Şekil 13. İlk giren ilk hizmet alır kuralının program içerisindeki döngüsü

En uzun işlem süresine göre çizelgeleme yönteminde gelen siparişlerin üretim merkezine geliş sıralarının yanı sıra siparişlerin toplam üretim süresinin uzunluğuna göre makine yükleme işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntemde işlem süresi uzun olan siparişin önceliği vardır.

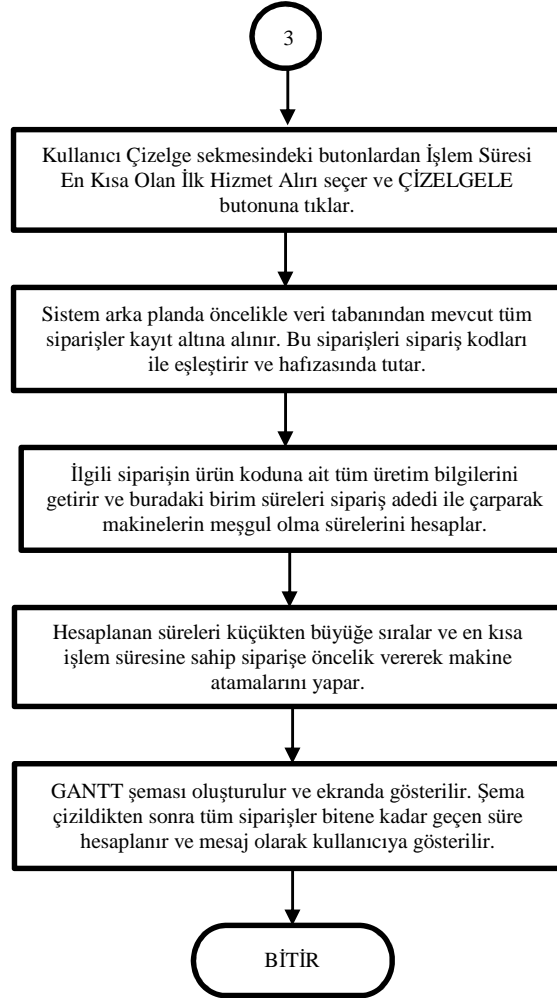
Sistemin çalışma prensibini anlayabilmek amacı ile işlem süresi en uzun olan ilk hizmet alır (İSEU) kuralının program içerisindeki döngüsü Şekil 14’de gösterilmiştir.



Şekil 14. İşlem süresi en uzun olan ilk hizmet alır kuralının program içerisindeki döngüsü

En kısa işlem süresine göre çizelgeleme yönteminde gelen siparişlerin üretim merkezine geliş zamanları ve teslimat zamanları göz ardı edilerek toplam üretim süresinin uzunluğuna göre makine yükleme işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntemde işlem süresi en kısa olan siparişin önceliği vardır.

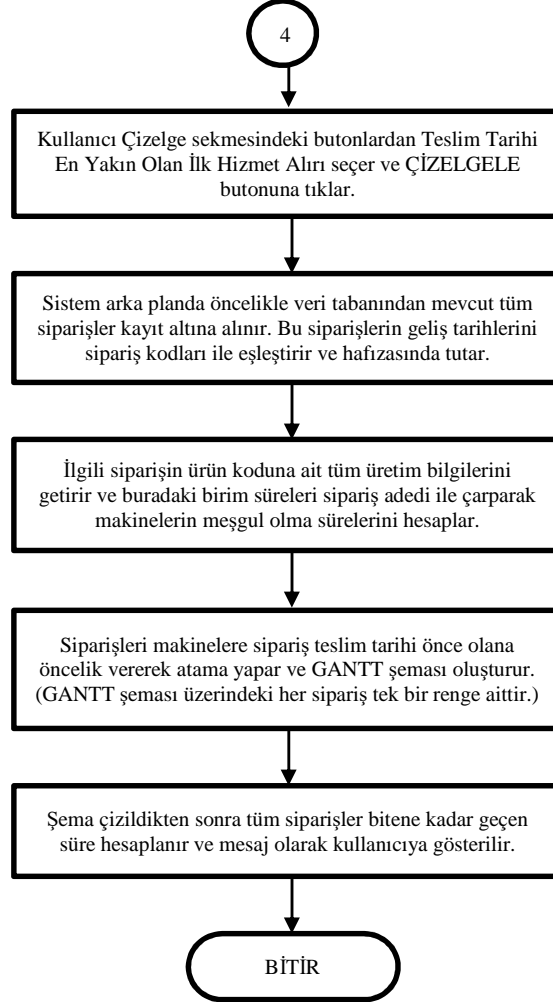
Sistemin çalışma prensibini anlayabilmek amacı ile işlem süresi en kısa olan ilk hizmet alır (İSEK) kuralının program içerisindeki döngüsü Şekil 15’de gösterilmiştir.



Şekil 15. İşlem süresi en kısa olan ilk hizmet alır kuralının program içerisindeki döngüsü

Teslim tarihi en yakın olan ilk hizmet alır yönteminde gelen siparişlerin sipariş teslim tarihleri göz önüne alınarak makine yükleme işlemi gerçekleştirilir. Sipariş teslim tarihleri aynı olan siparişler içerisinden rastgele bir seçim yapılarak yerleştirilir.

Sistemin çalışma prensibini anlayabilmek amacı ile teslim tarihi en yakın olan ilk hizmet alır (TTEY) kuralının program içerisindeki döngüsü Şekil 16'da gösterilmiştir.



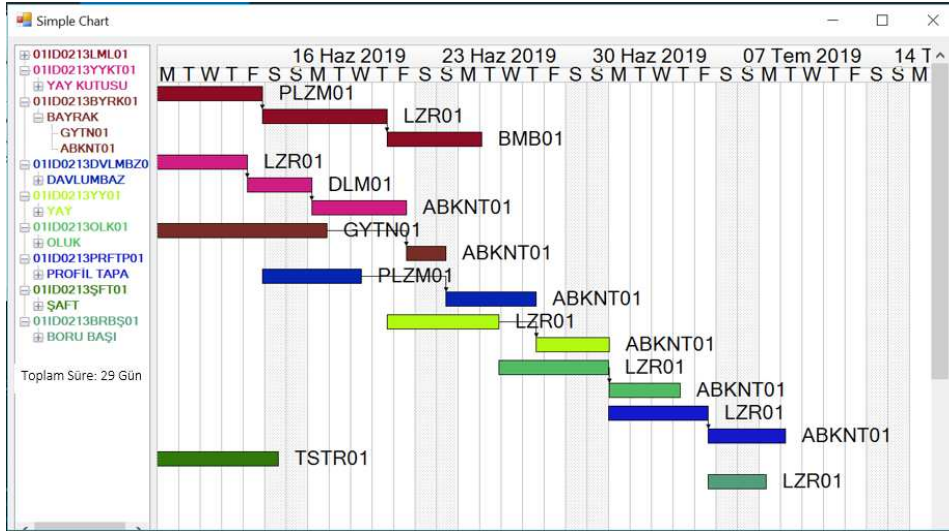
Şekil 16. Teslim tarihi en yakın olan ilk hizmet alır kuralının program içerisindeki döngüsü

V. UYGULAMA/BULGULAR

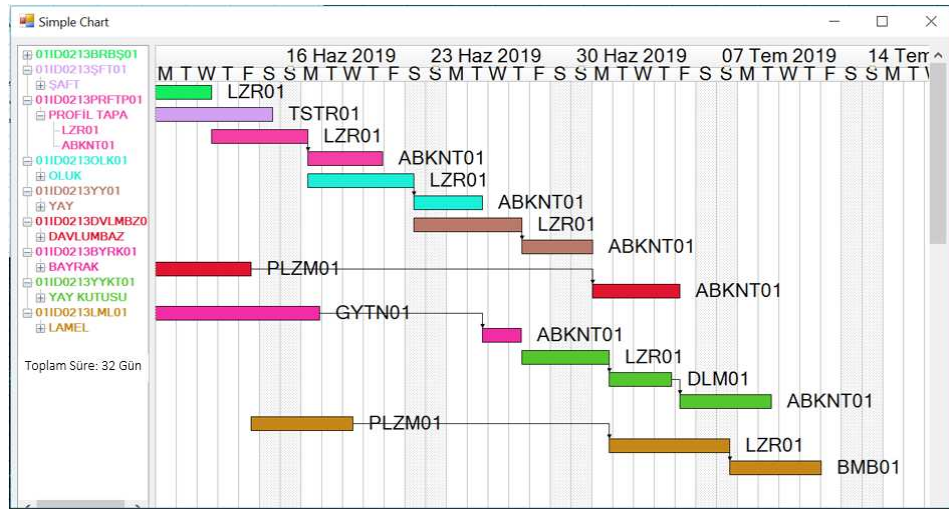
Bu bölümde yazılımı yapılmış olan çizelgeleme programı uygulaması sunulmuş ve elde edilen bulgular paylaşılmıştır.

Uygulama için seçilen firmadan toplanan veriler veri tabanı bölümü ile kayıt altına alınmıştır. Farklı öncelik sıralamaları ile Gantt diyagramları oluşturulmuş ve mevcut siparişlerin seçilen yöntemle göre ne şekilde makinelere atama yapılması gerektiği gösterilmiştir. Son siparişin son işleminin bittiği an kayıt altına alınarak siparişlerin bitmesi için gerekli olan toplam süre hesapları incelenmiştir. Şekil 17'de ilk giren ilk hizmet alır yöntemine göre Gantt diyagramı çizelgesi gösterilmiştir.

Şekil 19’da işlem süresi en uzun olan ilk hizmet alır yöntemine göre, Şekil 20’de ise işlem süresi en kısa olan ilk hizmet alır yöntemine göre Gantt diyagramı çizelgelemesi gösterilmektedir.



Şekil 19. İşlem süresi en uzun olan ilk hizmet alır yöntemi ile çizelgeleme



Şekil 20. İşlem süresi en kısa olan ilk hizmet alır yöntemi ile çizelgeleme

Kepenik üretimi yapan firmalara yarı mamul tedariki sağlayan firma için mevcut siparişlerin çizelgelemesi yapılmıştır. Dört farklı yöntemle oluşturulan Gantt diyagramları sonucunda toplam süreler hesaplanmıştır. Firmanın en kısa sürede tüm siparişlerini üretmek müşteri memnuniyeti sağlama amaçlanmıştır. Oluşturulan Gantt diyagramlarında toplam süreleri; ilk giren ilk hizmet alır yönteminde 35 gün, teslim tarihi en yakın olan ilk hizmet alır yönteminde 35 gün, işlem süresi en uzun olan ilk hizmet alır yönteminde 29 gün ve işlem süresi en kısa olan ilk hizmet alır yönteminde 32 gün olarak hesaplanmıştır.

VI. SONUÇ

Çizelgeleme problemleri karmaşık problemlerdir. Bu nedenle firmalar genellikle bir öncelik kuralını benimsemiş ve sürekli bu sisteme göre çalışmalarını gerçekleştirmektedir. Teknolojinin gelişmesi ile firmalar artık daha esnek çalışma koşullarına sahip olmaktadır. Çizelgeleme problemleri bu esnekliğe bir nevi engel olmaktadır. Çalışma sonucunda geliştirilen sistem sayesinde firmalar farklı öncelik kuralının hesabını kolayca yapabilecek ve en uygun sonucu veren sistemi rahatlıkla seçebilecektir.

Çalışmanın uygulandığı firmada, çizelgeleme işleminin zor olması nedeniyle firma ilk giren ilk hizmet alır yöntemini kabul görmüş ve makine atamalarını her zaman bu yöntemle gerçekleştirmekteydi. Geliştirilen program sayesinde dört farklı yöntemle kıyaslama yaparak en uygun yöntemi seçilmesi ve ona göre makine atamalarının yapılması sağlanmıştır. Uygulama da verilen siparişler için en uygun makine atamalarının, işlem süresi en uzun olan ilk hizmet alır yöntemine göre yapılması gerektiğine karar verilmiştir. Böylelikle 35 günde yapılan işlem 29 güne düşürülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Aydemir, E., 2009. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Öncelik Kuralı Tabanlı Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Simülasyon Destekli Optimizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- [2] Sarıkaya, B., 2005. Otomotiv Yan Sanayinde Bir Üretim Çizelgeleme Probleminin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- [3] Candan, G., 2010. Esnek Üretim Çizelgeleme Probleminin Genetik Algoritma ve Bulanık Mantık Yöntemleri İle Çözülmesi. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- [4] Altındaş, M., 2011, Üretim Çizelgeleme ve Bir Uygulama. Bozok Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Yozgat.
- [5] Doğan, N., 2013. Sıralamaya Bağımlı Hazırlı Sürelerinin Olduğu Permutasyonlu Akış Tipi Üretim Çizelgeleme Problemi İçin Bir NSGA-II Algoritması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- [6] Eren, T., Güner, E., Tek ve Paralel Makinalı Problemlerde Çok Ölçütlü Çizelgeleme Problemleri İçin Bir Literatür Taraması
- [7] Brucker, P. and Schile, R. (1990). Job-shop scheduling with multi-purpose machines. *Journal on Computing*, 45(4), 369-375.
- [8] Paulli, J. 1995. A hierarchical approach for the FMS scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 86(1), 32-42.
- [9] Brandimarte, P. 1993. Routing and scheduling in flexible job shops by tabu search, *Annals. Operations Research*, 41, 157-183.
- [10] Mastrolilli, M. and Gambardella, LM. 1996. Effective neighbourhood functions for the flexible job shop problem. *Journal of Scheduling*, 3, 3-20
- [11] Bagheri, A., Zandieh, M., Mahdavi, I. and Yazdani, M. (2010). An artificial immune algorithm for the flexible job-shop scheduling problem. *Future Generation Computer Systems*, 26, 533-541.
- [12] Kacem, I., Hammadi, S. and Borne, P. (2002). Approach by localization and multiobjective evolutionary optimization for flexible job-shop scheduling problems. *IEEE Transactions on Systems Man, and Cybernetics*, 2002(a), Part C, 32, 1-13.
- [13] Pinedo, M.L. 2008. *Scheduling Theory Algorithms and Systems*, USA: Springer.

- [14] Büyüksünetçi, A., 2006. Tepkin Çizelgeleme Yaklaşımının Akış Tipi Atölye Ortamında Etkinliğinin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [15] Tekbaş, H., 2011. Esnek sipariş tipi Üretim Sistemlerinde Müşteri Siparişlerinin Çizelgenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Araştırma Makalesi - Research Article

3B Yazıcı ile Elde Edilen Mandibula Modellerinin Boyutsal Değerlendirilmesi

Mehmet Mustafa ERDOĞAN¹, Tugçe ŞİMŞEK², Levent UĞUR^{3*}

Geliş / Received: 07/05/2020

Revize / Revised: 05/06/2020

Kabul / Accepted: 10/06/2020

ÖZ

Amaç: Çalışmamızda bilgisayarlı tomografi görüntülerinden elde edilen 3B (üç boyutlu) mandibula modeli üretiminde kullanılan parametrelerden alt eşik değişimi ve katman yüksekliğinin değiştirilmesinin model boyutu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. **Metod:** 35 yaşında sağlıklı bir hastanın maksillofasiyal BT görüntüleri kullanılarak tasarlanan ve basılan 3B mandibula modelinin segmentasyon işleminde eşik değeri sırasıyla 200,175 ve 150 Hounsfield birimi (HU) alınarak modeller oluşturuldu. Oluşturulan modellerin polilaktik asit (PLA) filament malzemeden baskısında 0.1, 0.2 ve 0.3 mm baskı katman yüksekliği kullanıldı. Elde edilen modeller yüksek çözünürlüklü tarayıcı ile taranarak STL formatında dataları bilgisayara aktarıldı. Taranan modeller referans model ile karşılaştırılarak aralarındaki fark belirlendi. Deney tasarımı olarak Taguchi L9 ortogonal dizini kullanıldı. Taguchi metodunda referans model ile meydana gelen fark için en küçük en iyi sinyal gürültü oranı denklemi kullanıldı. **Sonuç:** Deneyler sonucunda iki faktör arasında farka en çok etkiyi eşik değerinin yaptığı gözlemlenmiştir. Ayrıca 3B yazıcı ile elde edilen mandibula modelleri ile BT'den elde edilmiş olan anatomik model karşılaştırmasında modellerin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- 3B Yazıcı, Mandibula, Boyutsal Doğruluk

¹İletişim: mmerdogan2001@yahoo.com (<https://orcid.org/0000-0001-9955-0704>)

Kulak Burun Boğaz Kliniği Tıp Fakültesi, Amasya Üniversitesi, Merkez, Amasya

²İletişim: tugsek@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-1425-8833>)

Kulak Burun Boğaz Kliniği Tıp Fakültesi, Amasya Üniversitesi, Merkez, Amasya

^{3*}Sorumlu yazar iletişimi: leventozge@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-3447-3191>)

Makine Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Amasya Üniversitesi, Merkez, Amasya

Dimensional Evaluation of The Mandible Models With Obtained 3D Printer

ABSTRACT

Objective: In our study, the effect of changing the lower threshold and layer height on the model size from the parameters used in the production of 3D (three-dimensional) mandible model obtained from computed tomography images was investigated. **Method:** We used maxillofacial CT images of a 35-year-old healthy patient in the segmentation and printing process of 3D mandible model. In the segmentation process, the threshold value was used 200,175 and 150 Hounsfield units (HU), printing layer height was 0.1, 0.2, and 0.3 mm in the printing of the created models of polylactic acid (PLA) filament material. The obtained models were scanned with a high precision scanner. Their data in STL format were transferred to the computer, then scanned models were compared with the reference model, and the difference between them was determined. The Taguchi L9 orthogonal index was used as the experimental design. In the Taguchi method, the smallest best signal to noise ratio equation was used for the difference with the reference model **Conclusion:** As a result of the experiments, it was observed that the threshold value had the most effect on the difference between the two factors. Also, it was observed that in the comparison of the mandible models obtained with a 3D printer and the anatomical model obtained from CT, the models were similar.

Keywords- 3D printing, Mandibula, Dimensional accuracy

I. GİRİŞ

Beslenme, konuşma ve yüz estetiği için çok önemli fonksiyonlara sahip olan mandibula (çene kemiği) trafik kazaları, ateşli silah yaralanmaları, darp ve bazı tümöral hastalıklar veya enfeksiyon hastalıkları nedeni ile normal yapısını yitirebilir ve rekonstrükte edilme ihtiyacı doğabilir. Rekonstrüksiyonun amacı, çene ve yüz estetiğinin ve simetrisinin korunarak iyi fonksiyonel sonuçların elde edilmesi, böylece çenenin şeklinin korunması ve gelecekte olası diş rehabilitasyonuna izin vermesini sağlamaktır [1]. Rekonstrüksiyon, mandibulaya bağlı kaslar, glenoid fossadaki kondillerin şekli ve pozisyonu, mandibulanın karmaşık anatomi ve geometrisi gibi çeşitli nedenlerden dolayı cerrahlar için zorluklar oluşturmaktadır [1].

Bu zorluklar, 3 boyutlu (3B) anatomik modellerin kullanılmasıyla önemli ölçüde aşılabilir. Cerrahın görüntüleri standart bir monitörde bilgisayarlı tomografide (BT) değerlendirmesinin aksine, 3B modellerle fiziksel olarak etkileşime girerek morfolojiyi daha iyi anlaması ve uygulamalı cerrahi planlama yapması kolaylaşır [2, 3]. Tıpta 3B baskı için en zorlayıcı kullanım durumlarından biri, cerrahi planlama için hastaya özgü anatomik modellerin oluşturulmasıdır [4, 5]. Bu zorluklar tıbbi görüntüleme tekniklerinin gelişmesi ile hastanın görüntülerinin kullanılması ile ortadan kaldırılmıştır [6]. Ortaya çıkan fiziksel model cerraha ameliyathaneye girmeden önce ameliyatı planlama ve hazırlık yapma fırsatı sunar.

2005-2015 yılları arasında yapılan cerrahide 3B baskıyı inceleyen 158 meta-analiz çalışmasında ameliyat öncesi planlama ve ameliyathanede zaman tasarrufu gibi avantajlar tanımlanmış, ancak 34 çalışmada modellerin doğruluğunun tatmin edici olmadığını vurgulamıştır [7].

Üretici firmalar doğruluk açısından spesifikasyonlar sağlamasına rağmen, bunlar klinik uygulamada çoğunlukla belirsizdir. Çünkü çoğu test izometrik şekilli cisimler üzerinde yapılmaktadır, ancak anatomik modellerin kullanımında daha büyük boyutsal hatalar ortaya çıkabilmektedir.

3B baskı uygulamalarındaki yanlışlıklar hastaya zarar verebilecek uygunsuz tedaviye yol açabilmektedir. Cerrahlar preoperatif olarak hazırlanan kafatası veya mandibula modellerinin tedavisi planlanan hastanın tam anatomisini sunamayabileceğinin farkında olmalı ve gerekli hallerde hastanın tedavisine bilgisayarlı tomografi veya manyetik rezonans görüntülemesine dayanarak devam etmelidir. [8]. 3B baskılı dental cerrahi kılavuzlarda bile deformasyon olabileceği bildirilmiştir [9].

Bu çalışmada, mandibulanın 3B modellenmesi ve üretilmesi için kullanılan parametrelerin değiştirilmesinin model üzerindeki etkisi incelenmiştir. Özellikle, segmentasyon algoritmalarında genellikle yumuşak doku- kemik sınırını belirlemek için bir dizi eşik (threshold) kullanılmaktadır. Üst eşikler genellikle kemik için maksimum Hounsfield birimi (HU) değerini aşacak şekilde ayarlanmıştır ve genellikle kemik-yumuşak doku sınırını etkilemez. HU BT'nin mucidi Godfrey Hounsfield tarafından radyodansite için tarif edilmiş bir sayısal ölçektir. Suyun değeri 0, havanın değeri -1000 ve kemiğin değeri ise yoğunluğuna göre +300- +2000'dir. Düşük eşikler kemiği yumuşak dokudan ayırır ve bu sınırların yeri ve basılan nesnenin ortaya çıkan boyutları üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olacaktır. Ayrıca PLA filament malzemenin yapılmış 3B parçalar üzerinde farklı yazdırma parametreleri etki etmektedir. Burada önemli noktalardan biri de katman yüksekliğidir. Çalışmamızdaki amaç alt eşik değişimi ve katman yüksekliğinin model üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Bunun için deney tasarımı olarak Taguchi L9 ortogonal dizini kullanılmıştır.

II. MATERYAL VE METOD

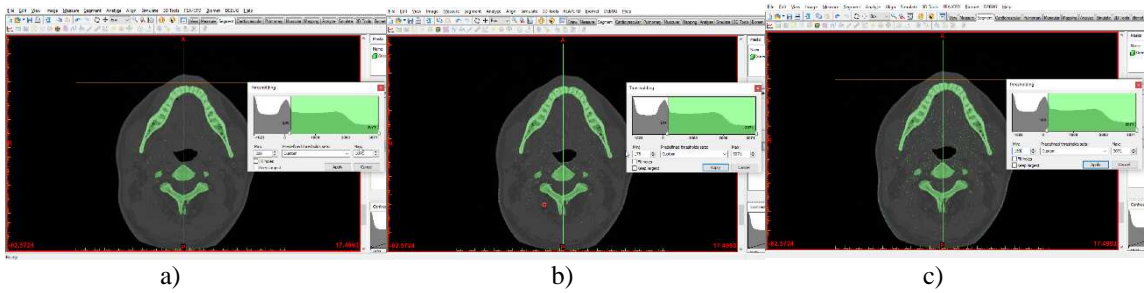
A. 3D modellerin elde edilmesi

Bu çalışmada, 35 yaşında sağlıklı bir hastanın şekil 1'de görüldüğü gibi maksillofasiyal BT görüntüleri kullanılmıştır. BT taraması GE Brightspeed 4 BT cihazıyla Amasya Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde yapılmıştır. Protokolümüzde yüksek çözünürlüklü görüntüler oluşturmak ve yumuşak doku görüntü parazitini en aza indirmek için 0.6 mm'lik kesit kalınlığında 512x512 piksel çözünürlüğü ve yumuşak rekonstrüksiyon filtreleri kullanılarak DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında ham veri elde edilmiştir. Tüm DICOM verileri resim arşivleme ve iletişim Sistemi'ne (PACS-Picture Archiving and Communication Systems) kaydedildi.



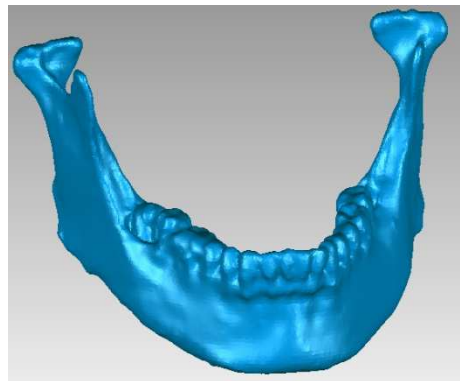
Şekil 1. Kullanılan BT'nin transverse planda görüntüsü

İnteraktif bir yazılım olan MIMICS® (Materialise's Interactive Medical Image Control System/ Materialise NV, Belgium) yazılımı kullanılarak BT görüntülerinin görselleştirme ve segmentasyon işlemleri yapıldı. Şekil 2'de görüldüğü gibi mandibula modelinin segmentasyon işlemi için HU değeri sırasıyla 200, 175 ve 150 eşik değeri alınarak modeller oluşturuldu [10].



Şekil 2 a) 200 HU segmentasyon görüntüsü b) 175 HU segmentasyon görüntüsü c) 150 HU segmentasyon görüntüsü

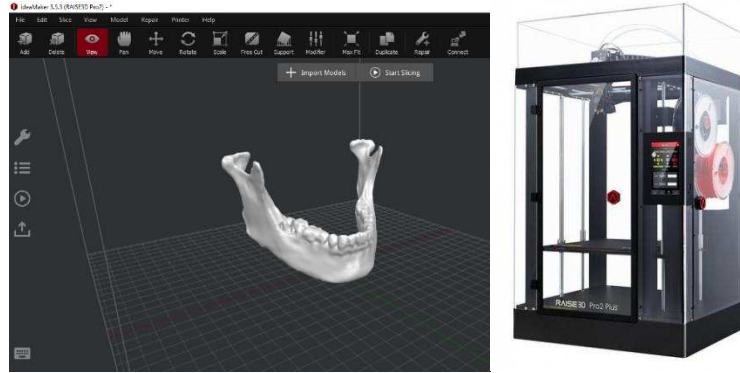
Mandibula modelinde oluşan parlama (artefakt) ve tüm yumuşak doku kalıntılarının temizlenmesi için MIMICS yazılımından geometriler tersine mühendislik yazılımı olan GEOMAGIC® Studio (Raindrop Inc., USA) programına STL (stereolithography) formatına dönüştürülerek gönderilmiştir. Herbir segmentasyon için ayrı ayrı modeller elde edilmiştir [11]. Şekil 3'de bu modellerden biri gösterilmiştir.



Şekil 3. Mandibula modelinin Geomagic Studio programında düzenlenmesi.

B. Modellerin 3B Yazıcıdan elde edilmesi

Elde edilen mandibula modelleri Şekil 4'te gösterildiği şekilde IdeaMaker 3.1.7 programı ile 3B yazıcı yazdırma tablasına konumlandırılmıştır. 3B yazıcılarda farklı yazdırma parametreleri vardır. Bunlardan biri olan katman yüksekliğinin değiştirilmesi ile modeller çift ekstrüdere sahip Raise3D Pro2 makinesinde üretilmiştir. Bu yazıcılar, termoplastik bir polyester olan Polilaktik Asit (PLA) kullanır. Tüm modellerde işlem ayarları standartlaştırılmış ve ekstrüder sıcaklığı 215 °C, oda sıcaklığı 24 °C, destek %20, destek olmadan maksimum çıkıntı %60 olarak alınmıştır.



Şekil 4. Mandibula modelinin 3B yazıcı ile elde edilmesi.

C. Taguchi Yöntemi ile Sonuçların Değerlendirilmesi

Literatürden elde edilen veriler ile tablo 1'de modellerin tasarımında ve üretiminde kullanılan parametreler verilmiştir [11].

Tablo 1. Modellerin tasarımında ve üretiminde kullanılan parametreler ve seviye değerleri

Tasarım ve Üretim parametreleri	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Eşik Değeri (HU)	200	175	150
Katman Yüksekliği (mm)	0,1	0,2	0,3

Modellemede ve üretimde kullanılan parametreler ve seviyeler tablo 2'de gösterildiği gibi Taguchi metodu ile L9 ortogonal dizilim oluşturulmuştur. Tablo 1'de verilen değere göre anatomik model ile farklar ölçülmüştür. Taguchi metodunda referans model ile meydana gelen fark için gerekli olan parametreler için, en küçük en iyi sinyal gürültü oranı denklemi kullanılarak yapılmıştır. Minitab 17 programında en küçük en iyi denklemi kullanılarak S/N oranları, seviye değerleri hesaplanmıştır. Bu denklemin sonucuna göre elde edilen S/N oranları Tablo 2'te verilmiştir. Denklemden "n" tekrarlama sayısı, "i" ve "y" ise değişkenin ölçülen değeridir.

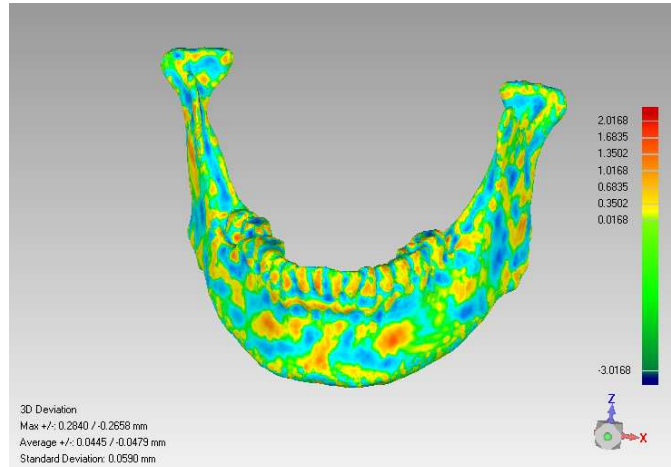
$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

Tablo 2. L9 ortogonal dizilim kullanarak oluşturulan

Deney No	Eşik Değeri (HU)	Katman Yüksekliği (mm)	RMS (mm)	S/N (dB)
1	150	0,1	0,215	13,3512
2	150	0,2	0,271	11,3406
3	150	0,3	0,292	10,6923
4	175	0,1	0,126	17,9926
5	175	0,2	0,178	14,9916
6	175	0,3	0,195	14,1993
7	200	0,1	0,124	18,1316
8	200	0,2	0,156	16,1375
9	200	0,3	0,174	15,1890

D. Modellerin Doğrulanması

Elde edilen modeller yüksek çözünürlüklü tarayıcı (Artec Space Spider.) ile taranarak STL formatında dataları bilgisayara aktarıldı. Elde edilen modellerin her biri 3D analiz için Geomagic Studio programına gönderilerek en uygun hizalama yöntemi kullanılarak referans mandibula modeli üzerine bindirildi. Daha sonra şekil 5’de gösterildiği gibi taranan modeller referans model ile karşılaştırılarak fark noktaları ve ortalama karekök (the root mean square value (RMS)) değeri belirlendi.



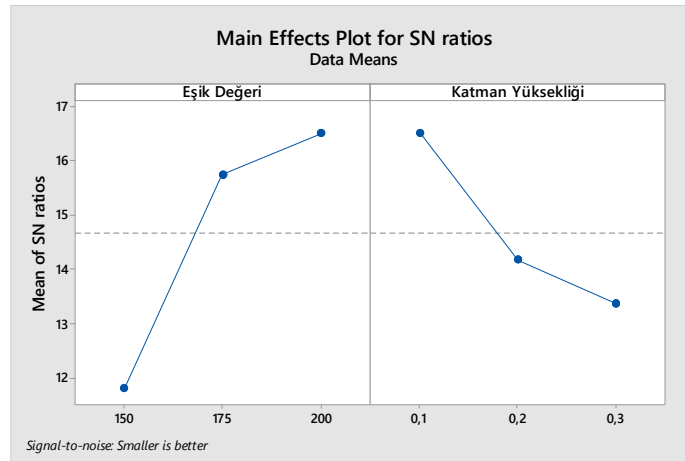
Şekil 5. Modellerin karşılaştırılması

III. BULGULAR

Taguchi metodu L9 ortogonal dizilim yöntemine göre oluşturulan modeller referans model ile kıyaslanarak elde edilen RMS değerleri tablo 2’de gösterilmiştir. Elde edilen verilerin analizleri için Taguchi metodunun en temel kriterleri olan sinyal/gürültü (S/N) oranı kullanılmıştır. Tablo 2’de referans modele en yakın 3 1 dizilimi yani, 200 HU ve 0,1mm katman kalınlığında üretilmiş modelde ulaşıldığı görülmüştür. Analizler sonucunda elde edilen parametre seviyelerinin S/N oranları Tablo 3’te verilmiştir. Bu tabloda parametre seviyeleri için en büyük ve en küçük S/N oranı arasındaki fark gösterilmiştir. “Delta” satırındaki değeri en büyük olan parametre bu işlem için en önemli parametreyi göstermektedir. Buna göre eşik değeri en önemli parametredir. Şekil 6’da S/N oranları grafiği verilmiştir.

Tablo 3. RMS için S/N cevap tablosu

Level	Eşik Değeri (HU)	Katman Yüksekliği (mm)
1	11,79	16,49
2	15,73	14,16
3	16,49	13,36
Delta	4,69	3,13
Rank	1	2



Şekil 6. RMS'nin S/N oranına göre Eşik değeri ve Katman yüksekliği faktör seviyelerinin grafiği

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

3B yazıcılar tıpta cerrahi öncesi planlamada, kişiye özel anatomik model üretiminde, kişiye özel cerrahi alet veya protez üretiminde, hasta ve doktor eğitiminde, delme kılavuzları üretiminde ve doku mühendisliğinde kullanılmaktadır.[12, 13]Tıbbi uygulamalarda 3B baskının en önemli unsuru referans modele en yakın geometrinin elde edilmesidir. Boyutsal hassasiyeti zayıf modellerin üretilmesi yanlış varsayımlara yol açabilir ve en kötü durumda hastaya zarar verebilir. Hassasiyet daha önceki çalışmalarda milimetre cinsinden ifade edilmiştir [14, 15]. Bu hassasiyet pozitif veya negatif sapmalar olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu çalışmada hassasiyet için diş hekimliği alanında yapılan diğer çalışmalarda olduğu gibi tüm değerlerin karesi olan RMS değeri baz alınmıştır[16].

Çalışmamızda 3B mandibula modellemesi için kullanılan parametrelerden alt eşik değeri ve 3B yazıcı ile üretilmesinde katman yüksekliği parametrelerinin üç farklı özelliği kullanılarak 3B baskı teknolojisiyle üretilen anatomik mandibula modelleri boyutsal doğrulukları açısından karşılaştırılmıştır. En iyi RMS değeri 0,124 mm olarak eşik değeri 200 HU'da ve 0.1mm kesit kalınlığında elde edilmiştir.

Literatürde 3B yazıcı ile elde edilen modellerde referans verileri arasında genellikle 1 mm'den küçük hatalar olduğu görülmüştür [17]. Bu da elde ettiğimiz sonuçların literatürle benzerlik gösterdiğini kanıtlamaktadır. Genel olarak, mandibulanın segmentasyonu için alt eşik değerinin azaltılması ile elde edilen mandibula modellerinin boyutlarının arttığını ve referans model ile aralarında önemli ölçüde farklılıkların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca eşik değerinin düşürülmesi sonrası oluşan değişim nedeniyle 3B modeli manuel olarak onarmak gerektiğinden ek zaman ve çaba gerekmektedir. Bunun yanı sıra katman yüksekliğinin artırılmasının yine referans modele göre farklıklar oluşturduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Cohen, A., et al., Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 2009. 108(5): p. 661-666.
- [2] Odeh, M., et al., Methods for verification of 3D printed anatomic model accuracy using cardiac models as an example. *3D printing in medicine*, 2019. 5(1): p. 6.
- [3] Petzold, R., H.-F. Zeilhofer, and W. Kalender, Rapid prototyping technology in medicine—basics and applications. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 1999. 23(5): p. 277-284.
- [4] Matsumoto, J.S., et al., Three-dimensional physical modeling: applications and experience at Mayo Clinic. *Radiographics*, 2015. 35(7): p. 1989-2006.
- [5] Bastawrous, S., et al., Principles of three-dimensional printing and clinical applications within the abdomen and pelvis. *Abdominal Radiology*, 2018. 43(10): p. 2809-2822.
- [6] Ripley, B., et al., 3D printing from MRI data: harnessing strengths and minimizing weaknesses. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2017. 45(3): p. 635-645.
- [7] Martelli, N., et al., Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: a systematic review. *Surgery*, 2016. 159(6): p. 1485-1500.
- [8] Fasel, J.H., et al., A critical inventory of preoperative skull replicas. *The Annals of The Royal College of Surgeons of England*, 2013. 95(6): p. 401-404.
- [9] Stumpel, L.J., Deformation of stereolithographically produced surgical guides: an observational case series report. *Clinical implant dentistry and related research*, 2012. 14(3): p. 442-453.
- [10] Ogden, K., et al. Dimensional accuracy of 3D printed vertebra. in Medical Imaging 2014: Image-Guided Procedures, Robotic Interventions, and Modeling. 2014. *International Society for Optics and Photonics*.
- [11] Brouwers, L., et al., Validation study of 3D-printed anatomical models using 2 PLA printers for preoperative planning in trauma surgery, a human cadaver study. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 2019. 45(6): p. 1013-1020.
- [12] Kaye, R., et al., Three dimensional printing: A review on the utility within medicine and otolaryngology. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 2016. 89: p. 145-148.
- [13] Aimar, A., A. Palermo, and B. Innocenti, The role of 3D printing in medical applications: a state of the art. *Journal of healthcare engineering*, 2019. 2019.
- [14] Silva, D.N., et al., Dimensional error in selective laser sintering and 3D-printing of models for craniomaxillary anatomy reconstruction. *Journal of cranio-maxillofacial surgery*, 2008. 36(8): p. 443-449.
- [15] Ibrahim, D., et al., Dimensional error of selective laser sintering, three-dimensional printing and PolyJet™ models in the reproduction of mandibular anatomy. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 2009. 37(3): p. 167-173.
- [16] Kim, S.-Y., et al., Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2018. 153(1): p. 144-153.
- [17] George, E., et al., Measuring and establishing the accuracy and reproducibility of 3D printed medical models. *Radiographics*, 2017. 37(5): p. 1424-1450.

Araştırma Makalesi - Research Article

Harmonik Sinyallerin Yük Tanımadaki Başarısının İncelenmesi ve Yeni Bir Model Önerisi

Emre Akarslan^{1*}, Rasim Doğan²

Geliş / Received: 12/05/2020

Revize / Revised: 12/06/2020

Kabul / Accepted: 17/06/2020

ÖZ

Günümüzde gelişen teknoloji ve akıllı sistemlerin yaygınlaşması ile birlikte yük tarafının kontrolü önemli bir konu haline gelmiştir. Özellikle akıllı evlerde herhangi bir anda sistemde mevcut yüklerin doğru bir şekilde belirlenmesi, onların yönetilebilmesi açısından kritiktir. Bu çalışmada, harmonik akım sinyallerini girdi olarak kullanan yeni bir yük tanıma modeli önerilmiştir. 1000W ısıtıcı, 1200W ısıtıcı, 1000W süpürge, 2200W su ısıtıcısı ve 2100W ütünün elektrik yükü olarak seçildiği çalışmada, bu yüklerin bireysel ya da çeşitli kombinasyonlarda birlikte kullanıldığı durumlarda akım ve gerilim sinyalleri toplanmıştır. Sonrasında bu sinyallerden çıkarılan öznitelikler ve yapay sinir ağları kullanılarak, sistemde herhangi bir anda bulunan yükler belirlenmeye çalışılmıştır. Son olarak öznitelik olarak kullanılan her bir harmonik akım sinyalinin yük tanıma başarısına etkisi incelenmiş ve en etkili öznitelikler belirlenmiştir. Gerçekleştirilen simülasyon sonuçları önerilen modelin yük tanıma çok başarılı sonuçlar sağladığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler- *Yük tanıma, Harmonik bileşenler, Yapay sinir ağları.*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: e.akarslan@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-5918-7266>)

Elektrik Mühendisliği, Afyon Kocatepe Üniversitesi, ANS Kampüsü, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye

²İletişim: rasimdogan@aku.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-2122-9528>)

Elektrik Mühendisliği, Afyon Kocatepe Üniversitesi, ANS Kampüsü, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye

The Investigation of Harmonic Signals Success on Load Identification and A New Model Proposal

ABSTRACT

With the development of technology and smart systems, the control of the demand side has become an important issue today. Especially in smart homes, accurate determination of the loads presented in the system at any time is critical in terms of managing them. In this study, a novel load identification model is proposed that uses harmonic current signals as input. 1000W heater, 1200W heater, 1000W vacuum cleaner, 2200W kettle and 2100W iron are selected as electrical loads, and their current and voltage signals are recorded when these loads are used in individual or various combinations. Then, by using the features extracted from these signals and artificial neural networks, the loads presented at any time in the system are determined. Finally, the effect of each harmonic current signal used as a feature on load identification success is examined and the most effective features are determined. The simulation results present that the proposed model provides very successful results in load identification.

Keywords- Load identification, Harmonic components, Artificial neural networks.

I. GİRİŞ

Teknolojinin gelişimi ve nüfus artışı ile artan enerji talebi, aynı anda farklı üreticilerin sisteme dahil olduğu ve tüketim tarafının da yönetilebildiği akıllı şebekelerin daha da ön plana çıkmasına neden olmuştur. Akıllı şebekelerde talep tarafının yönetilmesinin bir parçası da şebekede bulunan yüklerin doğru belirlenmesidir. Özellikle akıllı evlerin yaygınlaştığı günümüzde, yükün doğru bir şekilde tanımlanabilmesi daha da önemli hale gelmiştir. Bu amaçla yükün izlenmesi (load monitoring) gerekir ki, yük izlemenin önemli aşamalarından bir tanesi de izlenen yükün doğru bir şekilde belirlenmesidir. Bu alanda referans çalışmalardan bir tanesi Hart [12] tarafından önerilen Müdahaleci olmayan cihaz yükü izleme (Non-intrusive Appliance Load Monitoring) algoritmasıdır. Bu çalışmada On/Off durumlarında güç tüketimindeki değişimlerin izlenerek, burada fark oluşturan yüklerin belirlenmesi kümeleme (clustering) algoritması ile açıklanmıştır. Sonrasında literatürde bu alanda farklı strateji ve yöntemlerin kullanıldığı çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. [1]'de, tak-çalıştır yükleri tanımak için Kontrollü Bireysel Organizasyon Haritası (Supervised Self Organisation Map) ve Bayes yaklaşımını (Bayesian approach) kullanmayı önermişlerdir. Çalışmada öznitelik olarak rms akımı, 3. ve 5. harmonik akımı, güç faktörü, tepe (crest) faktörü ve toplam harmonik bozulma (THD) değerleri kullanılmıştır. Yük olarak LCD monitör, LCD TV ve LED TV gibi yüklerden elde edilmiş sinyaller üzerinde yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. [2]'de, yöntem olarak Yapay Sinir Ağlarını kullanmışlardır. Parseval teoremiyle hesaplanan dalgalık dönüşüm katsayılarının güç spektrumu öznitelik olarak kullanılmış, Klima, TV, fırın, çamaşır makinesi vb. gibi bazı konut yükleri tanımlanmaya çalışılmıştır. Seçilen özniteliklerin geri yayılım algoritmasını kullanan yapay sinir ağları ile kullanıldığı deneyler sonucunda, önerilen yöntemin böyle çalışmalar için uygun olacağı değerlendirilmiştir. [3]'te bir cihaz modeli oluşturmak için güç sinyalini kullanmışlardır. Geliştirilen tanıma modeli, öznitelik çıkarma, seçme ve sınıflandırma aşamalarından oluşmaktadır. Çalışmada öznitelik olarak, aktif ve reaktif güçteki değişimler, aktif güçteki geçici rejim (transients) ile geçici rejimlerin iki temel bileşenine iz düşümleri kullanılmış ve REDD ile BLUED veri seti verileri üzerinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. [4]'te, kuadratik (quadratic) programlamadan faydalanmışlardır. Çalışmada, fırın, vantilatör, süpürge, masa lambası, mikrodalga fırın, çamaşır makinesi ve televizyon gibi mesken yüklerini tanımak için, aktif-reaktif güç, etkin (rms) akım değeri, tepe faktörü ile akım-gerilim eğrisinden elde edilen geometrik bilgiler gibi çeşitli öznitelikler kullanılmıştır. Önerilen yöntem ile %90 üzerinde bir tanıma doğruluğu değerine ulaşıldığı rapor edilmiştir. [15]'te periyodograma dayalı yeni bir yük tanıma algoritması önermişlerdir. Yapılan çalışmada elektrikli cihazların karakteristik modellerinin seçimi ve belirlenmesi için teorik bir analiz gerçekleştirmişler, simülasyon çalışmaları ile de analizlerini test etmişlerdir. Bu yöntem, sistem karmaşıklığını büyük ölçüde basitleştirebilir ve yük tanıma başarısını artırabilir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar, bu alanda yapılacak çalışmalar için bir temel oluşturabilir. [7]'de Faktöriyel Gizli Markov Model ile Yinelemeli Alt Dizi Dinamik Zaman Çözgü (Iterative Subsequence Dynamic Time Warping) yöntemlerinin kombinasyonundan oluşan hibrit bir yöntem önermişlerdir. Güç tüketiminin öznitelik olarak kullanıldığı çalışmada 5 farklı cihaz üzerinden yapılan çalışmalarda, başarılı tanıma performansı elde edilmiştir. [8]'de güç dalga formunun geçici rejimini öznitelik olarak kullanmayı önermişlerdir. Önerilen yöntemde dinamik zaman çözgü (DTW) algoritması ile zaman serileri arasındaki benzerlik ortaya koyulurken, cihazı tanımlamak için en yakın komşu geçici tanımlama (nearest neighbour transient identification) yöntemi kullanılır. Genel (public) veri setleri üzerinde yapılan testlerde çok başarılı sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. Ayrıca yöntemin uygulamasının kolaylığı ve işlem karmaşıklığının düşüklüğü, yöntemin başarılı unsurları olarak rapor edilmiştir. [16]'da bir trafo merkezi tüketici grubundan, dengesiz bir yükün tanınması için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Bu şekilde elde edilen bilgi aynı zamanda eşdeğer elektrik şeması oluşturma işlemini kolaylaştıracak enformasyon sağlar. [14]'te çok etiketli sınıflandırma (multi-label classification) yaklaşımının başarısını incelemişlerdir. Bir evden toplanan akım, aktif-reaktif güç, güç faktörü gibi elektrikselsel nicelikler, öznitelik olarak kullanılmıştır. Karar ağaçları (Decision tree) sınıflandırıcı olarak seçilmiş, su ısıtıcısı, klima gibi yüksek güçlü cihazlar ile aydınlatma cihazları üzerinde deneyler yapılmıştır. Yük tanıma başarısı farklı cihaz türleri için farklı olmakla beraber, kabul edilebilir doğrulukta tanıma sağlanmıştır. [9]'da yük tanıma doğruluğunu artırmak için çözünürlüğü artırılmış admitans (resolution enhanced admittance) adı verilen admitans temelli yük işareti kullanılmasını önermişlerdir. Akım ve gerilim sinyalleri ile harmonik sinyallerinin yanında, yük admitansındaki faz bilgisinin de öznitelik olarak kullanıldığı çalışmada yük tanıma doğruluğunun iyileştiği görülmüştür. [10]'da yük tanıma için konvolüsyonel sinir ağlarının kullanılmasını önermişlerdir. Çalışmada güç sinyalindeki değişimler, bir türev alma işlemi ile belirlenmiş ve önerilen metot için girdi olarak kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan veriden elde edilen bazı istatistiksel bilgiler de modelin girdisi olarak kullanılmıştır. Gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları, önerilen yöntemin başarısını ortaya koymuştur. [11]'de yükleri sınıflandırmak ve tanımak için C ortalamalar (C-means) algoritmasının kullanılmasını önermişlerdir.

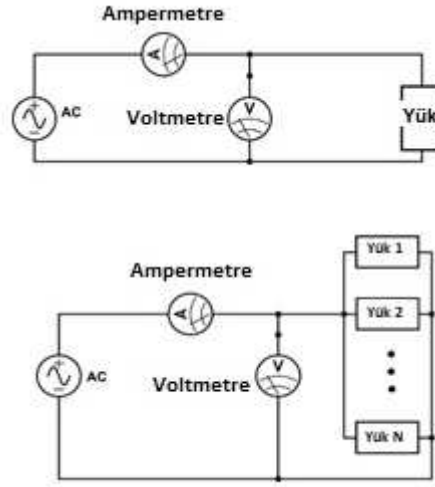
Çalışmada öznitelik olarak enerji güç miktarlarının yanında akım değerleri de kullanılmıştır. Bir sağlık tesisinden toplanan veriler üzerinde yapılan çalışmalarda, yüksek tanıma doğruluğu değerleri elde edilmiştir. [17]'de Kuhn-Munkras algoritmasının iyileştirilmiş bir versiyonu olan bir olay eşleştirme algoritması önermişlerdir. Yöntemde öncelikle bir cihazın devreye girip çıkması durumu belirlenir. Sonra aktif-reaktif güç sinyalleri gibi öznitelikler bir sınıflandırıcı ile sınıflandırılarak, Kuhn-Munkras algoritması ile yükün tanınması gerçekleştirilir. REDD veri seti üzerinde yapılan deneylerde başarılı yük tanıma performansı elde edilmiştir. [18]'de yük tanıma için kuantum parçacık sürü optimizasyonu (quantum particle swarm optimization) algoritmasına dayalı bir yöntem kullanılması önermişlerdir. Çalışmada öncelikle elektrikli cihazları temsil edecek öznitelikler elde edilmiş, sonra kuantum parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile elektrikli cihazların tanınması işlemi gerçekleştirilmiştir. 8 farklı elektrikli ev cihazı üzerinde yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. [13]'te yaptıkları çalışmada, bir binada devrede olan yükleri tanımak için, binanın güç tüketimlerini analiz etmişlerdir. Çalışmada öncelikle bir öznitelik seçim yöntemi kullanılarak, veri daha küçük bir forma indirgenmiştir. Böylelikle hesaplama zamanı azaltılarak kullanılacak yöntem, gerçek zamanlı uygulamalar için de uygulanabilir hale getirilmiştir. Sonrasında ise bir dalga şekli eşleştirme yöntemi ile kullanılan yükler tanınmaya çalışılmıştır. Gerçekleştirilen simülasyonlarda tatmin edici tanıma performansı elde edilmiştir.

Kullanılan yöntemler genellikle denetimli ve denetimsiz yöntemler olmak üzere iki farklı kategoride değerlendirilir [5]. Denetimli yöntemler sınıfların öğrenilmesi için bir eğitim safhasına ihtiyaç duyarken, iyi bir tanıma performansı sağlarlar. Denetimsiz yöntemler, denetimli yöntemlere kıyasla daha kolay uygulanabilirlerdir [6]. Bu sebeple sunulan çalışmada, bu alandaki başarısı dikkate alınarak, yük tanıma için yapay sinir ağları kullanılmıştır. Öncelikle Afyon Kocatepe Üniversitesi laboratuvarlarında 5 farklı elektrikli ev aleti ve bunların farklı kombinasyonları ile deneyler gerçekleştirilmiş, deneylerde ölçülen akım ve gerilim değerleri kaydedilmiştir. Bu kapsamda, sistemde aynı anda 1, 2 ve 3 yükün bulunduğu toplamda 180 deney gerçekleştirilmiştir. 18 farklı kombinasyon için 10'ar deney yapılmış, böylece deneyler arasında oluşabilecek farklılıklar da dikkate alınmıştır. Öznitelik olarak akım sinyalinden elde edilen harmonik akımlar kullanılmış ve oluşturulan modelin başarısı irdelenmiştir. Bu makalenin organizasyonu aşağıdaki şekilde tasarlanmıştır. 2. Bölümde çalışmada kullanılan verilerin nasıl elde edildiğinden ve yük tanıma için kullanılan modelin detaylarından bahsedilmiştir. 3. Bölümde deney sonuçları verilmiş ve son olarak 4. Bölümde sonuçlar tartışılmıştır.

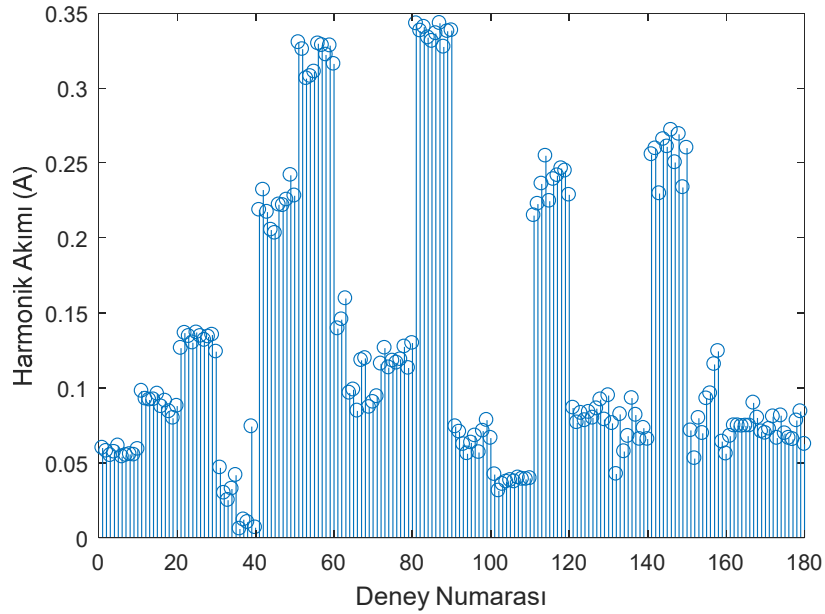
II. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan veriler, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında 5 farklı elektrikli cihazdan elde edilmiştir. Bu kapsamda 1000W gücünde bir elektrik süpürgesi, 1200W gücünde bir ısıtıcı, 1000W gücünde bir ısıtıcı, 2200W bir su ısıtıcı ve 2100W bir ütü tak-kullan elektrikli cihazlar (yükler) olarak seçilmiştir. Çalışmada amaç hem bireysel yükleri tanımak hem de sistemde herhangi bir anda mevcut yükleri doğru bir şekilde ayırtmaktır. Bu amaçla, Şekil 1'de görüldüğü gibi hem bireysel yükler (Şekil 1a) hem de farklı yük kombinasyonları (Şekil 1b) ile deneyler yapılmıştır. Buradan da görüldüğü gibi 220 V bir AC kaynaktan beslenen yük üzerine düşen gerilim ve üzerinden akan akım değerleri toplanarak kaydedilmiştir. Ölçümler için bir Fluke marka akım probu, Pinter marka voltaj probu ve Siglent marka bir osiloskop (SDS1102CNL) kullanılmıştır. Akım ve gerilim probu ile, yüksek örnekleme oranıyla (250kS / sn) anlık akım ve gerilim değerleri algılanmış, her ikisi de bir osiloskopa bağlanmış ve veriler CSV formatında kaydedilmiştir. Yukarıda belirtilen 5 yük bireysel ve bu yüklerin 2'li (9 farklı kombinasyon) ve 3'lü (4 farklı kombinasyon) kombinasyonlarında oluşan ve her kombinasyon için 10 deneyin yapıldığı toplam 180 deney gerçekleştirilmiştir. Her bir deney için 10000 veri noktasından oluşan 2 periyotluk akım ve gerilim sinyalleri elde edilmiştir. Çalışmada öznitelik çıkarmak için sadece akım sinyali kullanılırken, gerilim sinyalinden, sadece 5000 veri noktasından oluşan 1 periyotluk akım sinyalini elde etmek için faydalanılmıştır.

Bu çalışmada, yapay sinir ağlarına dayalı bir yük tanıma modelinin kullanılması önerilmiştir. İlk aşama, öznitelik çıkarma işlemidir. Bunun için öncelikle bir veri ön işleme süreciyle bir periyotluk akım sinyali, 2 periyotluk sinyalden ayrılır. Akım sinyalinin Fourier Transformundan, harmonik akım değerleri elde edilir. Bu kapsamda 1. (temel frekans), 3., 5., 7., 9. ve 11. Harmonik akımları kullanılacak öznitelikler olarak seçilmiştir. Harmonik akımların ayırt ediciliğinin kabaca değerlendirilmesi adına örnek olarak yapılan tüm deneylerden elde edilen 3. Harmonik akım değerlerinin değişimini gösteren grafik Şekil 2'de sunulmuştur.



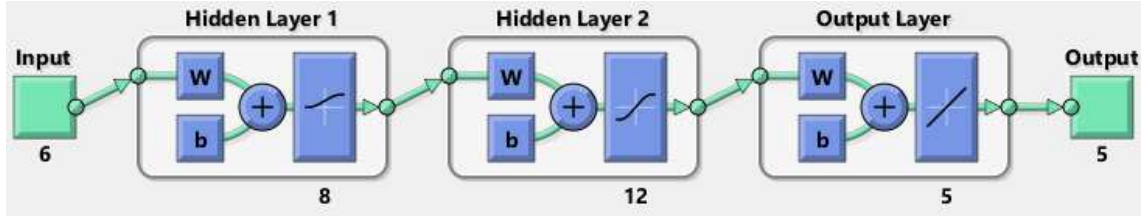
Şekil 1. Kurulan test düzeneği prensip şeması a) tek yük (üst) durumu b) yük kombinasyonu durumu (alt)



Şekil 2. Yükle yapılan deneylerden elde edilen 3. Harmonik akım sinyalleri

Şekil 2 incelendiğinde, bu verinin oldukça ayırt edici olduğu görülmektedir ancak belirli değerler birbirlerine oldukça yakındır. Örneğin son iki kombinasyonla yapılan deneylerden elde edilen 3. Harmonik akımı değerleri birbirine çok yakındır. Dolayısıyla bunları birbirinden ayırt edebilmek için farklı sinyallere de ihtiyaç vardır. Bu sebeple temel frekans akımı dahil 6 farklı harmonik akımı (1,3,5,7,9,11) bu çalışmada değerlendirilmiştir. Bunların dışındaki yüksek dereceli harmonik akımların değerleri oldukça düşük olduğundan ayırt etmede kullanılması fayda sağlamayacağı değerlendirilmiştir. Öznitelikler çıkarıldıktan sonra bir sınıflandırıcı vasıtasıyla yükler sınıflandırılarak, tanımlanır. Bu çalışmada yapay sinir ağlarının kullanılması uygun görülmüştür. Yapay sinir ağları (YSA) insan beyninin çalışma prensibini model alan bir yöntemdir. YSA geleneksel olarak üç veya daha fazla tabakadaki nöronlardan oluşur. Veri ağa giriş katmanından girer, bir veya daha fazla gizli katmandan geçer ve çıkış katmanından çıkar. Her katmandaki düğümler, sonraki katmandaki

düğümlere bağlanır. Her gizli katman ve çıktı katmanı düğümü, üstündeki düğümlerden veri toplar ve bir aktivasyon işlevi uygular [19,20]. Bir aktivasyon fonksiyonu çıkışın genliğini sınırlamak için kullanılır. İleri besleme işleminde veriler ağ üzerinden ileri yönde beslenir ve hata geriye doğru yayılır. Ağırlıkların ve sapmaların değerleri bir eğitim süreciyle belirlenir ve çıktı istenen bir doğruluğa ulaşana kadar geri yayılma tekrarlanır. Bu çalışmada, 6 farklı harmonik akımı öznitelik olarak kullanıldığı için oluşturulan modelde 6 girişi ve 5 farklı yüke ait kombinasyonlar kullanıldığı için ise 5 çıkışı bulunan Şekil 3'teki gibi bir YSA modeli tasarlanmıştır.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan bir YSA modeli için prensip şeması

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada tak kullan elektrikli cihaz yükü tanıma için öznitelik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarından oluşan bir yük tanıma modeli önerilmiştir. Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarında 5 farklı tak kullan elektrik cihazı kullanılarak 180 deney yapılmış ve bu deney verileri kullanılarak tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Öznitelik çıkarma yöntemi olarak literatürde en fazla sinyalin fourier dönüşümünden faydalandığı görülmüş ve bu çalışmada da bu yöntemden faydalanılmıştır. Matlab'ın FFT Analiz toolbox'ı kullanılarak 1., 3., 5., 7., 9. ve 11. Harmonik akım değerleri hesap edilmiş ve çalışmada öznitelik olarak kullanılmıştır. Sınıflandırıcı olarak ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağlarının kullanılması kararlaştırılmış ve çeşitli denemelerden sonra uygun ağ topolojisine karar verilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada oluşturulan modelin başarısı Eşitlik 1. ile değerlendirilmiştir.

$$\text{Başarı}(\%) = \frac{\text{Doğru sınıflandırma sayısı}}{\text{Toplam deney sayısı}} \times 100 \quad (1)$$

Gerçekleştirilen 180 deney verisinden 110 tanesi eğitim için kullanılırken, 70 tanesi test için kullanılmıştır. Yapay sinir ağları için eğitimde ve testte kullanılan verilerin farklılığının, simülasyon sonucunu değiştirebileceği de dikkate alınarak, eğitim ve test verileri rastgele seçilmiş ve her simülasyon 5 kere tekrarlanmıştır. 5 simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar ortalama ve standart sapma ile ifade edilmiştir. İlk aşamada 6 girişten oluşan ağ, 5 yük kullanıldığı için 5 çıkıştan oluşmaktadır. Sistemde bulunan cihazlar için çıkış 1, bulunmayanlar için çıkış sıfır olacaktır. 8 ve 12 nörondan oluşan 2 gizli katman planlanmış, bu gizli katmanlar için logsig ve tansig aktivasyon fonksiyonları kullanılırken, çıkış için doğrusal aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Seçilen tüm harmonik değerlerin kullanıldığı çalışmada Tablo 1'de sunulan sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuç önerilen modelin başarısını ortaya koymaktadır. Harmonik akım sinyalleri yük tanıma için ayırt edici özellik sağlar ve yapay sinir ağları yük tanıma için iyi bir sınıflandırıcıdır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise hangi harmonik sinyallerin bu uygulamada yük tanıma için daha etkili olduğu araştırılmıştır. Bu kapsamda, bir öznitelik etkisini belirlemek için her deneyde 1 öznitelik devreden çıkarılmış ve başarının bundan nasıl etkilendiği gözlenmiştir. Şayet girdi setinden çıkan bir öznitelik, tanıma başarısını olumsuz etkiliyor ise bu öznitelik önemli değilse daha önemsiz olarak değerlendirilmiştir. Bu aşamada 3'er deneyin değişimi anlamada yeterli olacağı düşünülmüştür. Sadece girdi sayısının değiştiği, ağ topolojisinin değişmediği yapıda elde edilen deney sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1. 1-3-5-7-9-11. Harmonik akımları ile elde edilen performans değerleri

Model	Ortalama Başarı (%)	Standart Sapma
YSA (1-3-5-7-9-11. harmonikler)	93.14	3.66

Tablo 2. Her bir harmonik akımı girdi setinden çıkarılınca performansın değişimi

Model	Ortalama Başarı (%)	Standart Sapma
YSA (3-5-7-9-11. harmonikler)	90.96	8.25
YSA (1-5-7-9-11. harmonikler)	85.24	3.59
YSA (1-3-7-9-11. harmonikler)	96.19	4.36
YSA (1-3-5-9-11. harmonikler)	97.14	1.43
YSA (1-3-5-7-11. harmonikler)	94.29	4.95
YSA (1-3-5-7-9. harmonikler)	94.29	2.86

Tablo 2 incelendiğinde, 3. Harmonik girdi setinden çıkarıldığında, başarıda önemli bir düşüş olduğu görülmüş ve bu nedenle 3. Harmonik en önemli öznelik olarak seçilmiştir. Daha sonra başarıda en yüksek ikinci düşüş 1. Harmonik veri setinden çıkarılınca gerçekleşmiş, bu sebeple 1. Harmonik en önemli 2. öznelik olarak belirlenmiştir. En önemli 3. öznelik ise 11. Harmonik olarak belirlenmiştir. 9. ve 11. Harmonik girdi setinden çıkarılınca ortalama başarılar aynıdır ancak 11. Harmonik için standart sapmanın daha düşük olması sebebi ile bu veri daha önemli olarak seçilmiştir. Bu seçimin doğruluğunu test etmek amacıyla daha önemli olarak belirlenen 3 harmonik verisi ile, daha az önemli olduğu belirlenen 3 harmonik sinyal ile yük tanıma modeli kurulmuş ve sonuçlar Tablo 3'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 3. Seçilen ve seçilmeyen öznelikler ile performans sonuçları

Model	Ortalama Başarı (%)	Standart Sapma
YSA (1-3-11. harmonikler)	89.52	2.97
YSA (5-7-9. harmonikler)	64.76	9.07

Tablo 3'ten de açıkça görüleceği gibi seçilen 3 özneliğin (1., 3. ve 11. Harmonik) kullanıldığı modelde, daha az önemli olarak belirlenmiş özneliklerle kurulan modele göre çok daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Burada yapılan seçim, çalışmada kullanılan cihazlara bağlı olarak değişebilir. Tablo 1 ve Tablo 3'te sunulan sonuçlar karşılaştırıldığında, 6 girdi yerine 3 girdi kullanılan çalışmada başarıda önemli bir düşüş görülmeden yine başarılı sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen tüm simülasyon çalışmaları dikkate alındığında, harmonik bileşenlerin yük tanımada kullanılabilecek önemli öznelikler olduğu açıkça görülmektedir. Çalışmada hem benzer karakteristiğe sahip yükler (farklı iki güçte ısıtıcı) hem de benzer güçte yükler (süpürge ve ısıtıcı gibi) bulunmaktadır ki, bu da tanıma işlemi zorlaştırmaktadır. Ancak deney sonuçları, tasarlanan modelin bu zorluğun üstesinden geldiğini göstermektedir. 1., 3. ve 11. Harmonik akımları daha önemli öznelikler olarak belirlenmiştir. Burada 1. ve 3. Harmonik akımlarının ayırt edici olması beklenen bir sonuç iken, 11. Harmonik akımının 5, 7 ve 9. Harmonik akımdan daha ayırt edici olması şaşırtıcıdır. Harmonik akımların derecesi yükseldikçe değerleri düştüğü için belirli bir dereceden sonra harmonik akımlar dikkate alınmazlar. Ancak bu sonuç belirli harmonik akımların değerleri düşmesine rağmen ayırt edici olabileceklerini göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan yükler için bu seçim gerçekleştirilmiştir, farklı yükler için seçim sonuçlarının değişebileceği düşünülmektedir. Çünkü bir ısıtıcı üreteceği harmonik ile bilgisayar gibi dönüştürücü kullanan bir cihazın üreteceği harmonik farklı olacaktır. Bu sebeple öznelik seçim işlemi her yeni yük ile tekrar yapılmalı ve yeni yüke göre tekrar revize edilmelidir. Harmonik sinyaller daha önce literatürde farklı amaçlar doğrultusunda

kullanılmıştır ancak böyle bir yaklaşım ile özneliklerin önemi araştırılmamıştır. Bu durum dikkate alındığında çalışmanın önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

IV. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, bir meskende sıklıkla kullanılan çeşitli tak-kullan elektrikli cihaz yüklerinin tanınması için yeni bir model geliştirilmiştir. 1000W ısıtıcı, 1200W ısıtıcı, 1000W elektrikli süpürge, su ısıtıcısı ve ütünün yük olarak kullanıldığı çalışmalarda, bu yüklerin bireysel ve çeşitli kombinasyonlar halinde devrede oldukları durumda akım ve gerilim değerler ölçülerek kaydedilmiştir. Daha sonra akım sinyalinin fourier dönüşümünden harmonik bileşenler hesap edilmiş ve bu bileşenlerin yük tanıma başarısına etkisi incelenmiştir. Yapay sinir ağlarının sınıflandırıcı olarak kullanıldığı model ile yapılan çalışmalarda, kullanılan yükler için 1., 3. ve 11. Harmonik bileşenlerin, tanıma başarısına 5., 7. ve 9. Harmonikten daha fazla etki ettiği tespit edilmiştir. Bu tespitin doğruluğunu ispat etmek için de simülasyon çalışması yapılarak, tespitin doğruluğu gösterilmiştir. Deney sonuçları hem harmonik sinyallerin bu alanda kullanılmak için iyi birer öznitelik olduğunu göstermiş, hem de oluşturulan modelin bu amaç için oldukça başarılı bir model olduğu ortaya konulmuştur. Kullanılan öznitelik seçim stratejisi sayesinde hem işlem yükü azaltılmış hem de tanıma başarısında önemli bir kayıp gözlenmemiştir. Kullanılan yük tipine bağlı olarak yük tanıma için harmonik akımların önem sırası değişebilecektir. Bu sebeple öznitelik seçim stratejisinin yük tanıma algoritmasına entegre edilmesi daha uygun olacağı düşünülmüş ve bu konu gelecek çalışmalar için bir araştırma konusu olarak değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Hart, G. W. (1992). Nonintrusive Appliance Load Monitoring. *Proceedings of the IEEE*, 80(12), 1870–1891. <https://doi.org/10.1109/5.192069>
- [2] Du, L., Restrepo, J. A., Yang, Y., Harley, R. G., & Habetler, T. G. (2013). Nonintrusive, self-organizing, and probabilistic classification and identification of plugged-in electric loads. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4(3), 1371–1380. <https://doi.org/10.1109/TSG.2013.2263231>
- [3] Chang, H. H., Lian, K. L., Su, Y. C., & Lee, W. J. (2014). Power-spectrum-based wavelet transform for nonintrusive demand monitoring and load identification. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50(3), 2081–2089. <https://doi.org/10.1109/TIA.2013.2283318>
- [4] Giri, S., & Bergés, M. (2015). An energy estimation framework for event-based methods in Non-Intrusive Load Monitoring. *Energy Conversion and Management*, 90, 488–498. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.11.047>
- [5] Lin, S., Zhao, L., Li, F., Liu, Q., Li, D., & Fu, Y. (2016). A nonintrusive load identification method for residential applications based on quadratic programming. *Electric Power Systems Research*, 133, 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.12.014>
- [6] Lu, H., Xin, W., Hui, B., Bing, Q., & Aixia, Z. (2016). A residential load identification algorithm based on periodogram for non-intrusive load monitoring. In *China International Conference on Electricity Distribution, CICED (Vol. 2016–September)*. IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/CICED.2016.7576286>
- [7] Cominola, A., Giuliani, M., Piga, D., Castelletti, A., & Rizzoli, A. E. (2017). A Hybrid Signature-based Iterative Disaggregation algorithm for Non-Intrusive Load Monitoring. *Applied Energy*, 185, 331–344. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.040>
- [8] Liu, B., Luan, W., & Yu, Y. (2017). Dynamic time warping based non-intrusive load transient identification. *Applied Energy*, 195, 634–645. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.010>
- [9] Dvorkin, D., Palis, S., Silaev, M., & Tulskey, V. (2017). Balanced load identification based on the correlation of the phase currents. In *58th Annual International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, RTUCON 2017 - Proceedings (Vol. 2017–November)*,

- pp. 1–4). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
<https://doi.org/10.1109/RTUCON.2017.8124822>
- [10] Buddhahai, B., Wongseree, W., & Rakkwamsuk, P. (2018). A non-intrusive load monitoring system using multi-label classification approach. *Sustainable Cities and Society*, 39, 621–630.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.02.002>
- [11] Liu, Y., Wang, X., Zhao, L., & Liu, Y. (2018). Admittance-based load signature construction for non-intrusive appliance load monitoring. *Energy and Buildings*, 171, 209–219.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.049>
- [12] Zhang, Y., Yang, G., & Ma, S. (2019). Non-intrusive load monitoring based on convolutional neural network with differential input. In *Procedia CIRP* (Vol. 83, pp. 670–674). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.110>
- [13] Guillén-García, E., Morales-Velazquez, L., Zorita-Lamadrid, A. L., Duque-Perez, O., Osornio-Rios, R. A., & Romero-Troncoso, R. de J. (2019). Identification of the electrical load by C-means from non-intrusive monitoring of electrical signals in non-residential buildings. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 104, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.06.040>
- [14] Xiao, Y., Hu, Y., He, H., Zhou, D., Zhao, Y., & Hu, W. (2019). Non-Intrusive Load Identification Method Based on Improved KM Algorithm. *IEEE Access*, 7, 151368–151377.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2948079>
- [15] Ding, G., Wu, C., Wang, Y., Liang, Y., Jiang, X., & Li, X. (2019). A novel non-intrusive load monitoring method based on quantum particle swarm optimization algorithm. In *Proceedings - 2019 11th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, ICMTMA 2019* (pp. 230–234). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICMTMA.2019.00058>
- [16] Hamdi, M., Messaoud, H., & Bouguila, N. (2020). A new approach of electrical appliance identification in residential buildings. *Electric Power Systems Research*, 178, 106037.
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.106037>
- [17] Zoha, A., Gluhak, A., Imran, M. A., & Rajasegarar, S. (2012, December). Non-intrusive Load Monitoring approaches for disaggregated energy sensing: A survey. *Sensors* (Switzerland).
<https://doi.org/10.3390/s121216838>
- [18] Xu, L., Wang, S., & Tang, R. (2019). Probabilistic load forecasting for buildings considering weather forecasting uncertainty and uncertain peak load. *Applied Energy*, 237, 180–195.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.022>
- [19] Akarslan, E., Hocaoglu, F. O., & Uzun, I. (2017). Classification of disc damage status by discovering knowledge from experimental data in marble cutting process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 231(13), 2407–2416.
<https://doi.org/10.1177/0954406216634748>
- [20] Ghiassi, M., & Burnley, C. (2010). Measuring effectiveness of a dynamic artificial neural network algorithm for classification problems. *Expert Systems with Applications*, 37(4), 3118–3128.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.09.017>

Araştırma Makalesi - Research Article

S809 Kanat Profili Etrafındaki Sınır Tabaka Akışının Emme Tekniği ile Aktif Kontrolünün Sayısal İncelenmesi

Gurbet Çankaya¹, Onur Erkan², Musa Özkan^{3*}

Geliş / Received: 30/04/2020

Revize / Revised: 18/06/2020

Kabul / Accepted: 18/06/2020

ÖZ

Bu çalışmada, sınır tabaka akışı aktif kontrol yöntemlerinden biri olan, sınır tabakadan kanat içerisine hava emilmesi prensibine dayanan emme tekniği kullanılarak bir rüzgar türbini kanadının aerodinamik performansının artırılması hedeflenmiştir. Emme işlemi daimi bir jet vasıtasıyla gerçekleştirilmiş, kanat modeli olarak rüzgar türbini uygulamalarında yaygın olarak kullanılan S809 kanat profili tercih edilmiştir. Çalışma parametreleri olarak, üç ayrı jet konumu ($L_{jet} = 0.1c, 0.26c, 0.36c$) ve üç ayrı jet oranı ($R_{jet} = 0.1, 0.3, 0.5$) seçilmiştir. Emme jeti genişliği sabit olup veter uzunluğunun %2.5'i kadar ve emme jeti açısı (θ_{jet}) bölgesel jet yüzeyine 90° olacak şekilde ayarlanmıştır. İki boyutlu türbülanslı akış için sayısal analiz; $\alpha = 15^\circ$ hücum açısında ve $Re = 10^6$ 'da SST k- ω türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak emme jeti konumunun etkisi, ardından en iyi sonucu veren emme jeti konumu seçilerek emme jeti oranının etkisi araştırılmıştır. Kanat profili etrafındaki akışa ait simülasyon sonuçları incelendiğinde, en iyi sonuç emme jeti konumu 0.36c (Jet-3) ve emme jeti oranı 0.5 olduğunda alınmıştır. Jet kullanılmadığı duruma göre C_L/C_D oranı 17.92'den 273.03'e yükselmiştir. Emme jeti ile kontrol yönteminin uygulanması ile kontrolsüz duruma göre Cl değeri yaklaşık olarak 1.211'den 1.8'e yükselmiş, Cd değeri ise 0.068'den 0.0066'ya düşmüştür.

Anahtar Kelimeler - Aktif kontrol yöntemi, Emme jeti, S809 kanat profili, Sınır tabaka akışı

¹İletişim: gurbetcanakaya@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-7422-3747>)

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 11230 Bilecik, Türkiye

²İletişim: onur.erkana@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7488-8039>)

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 11230 Bilecik, Türkiye

^{3*}Sorumlu yazar iletişimi: musa.ozkan@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-1322-3276>)

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 11230 Bilecik, Türkiye

Numerical Investigation of Active Control of Boundary Layer Flow Around S809 Airfoil with Suction Method

ABSTRACT

In this study, it is aimed to increase the aerodynamic performance of a wind turbine blade by using the suction technique which is one of the active control methods of boundary layer flows based on the principle of air intake from the boundary layer into the blade. Suction is defined as a continuous jet and the S809 airfoil is preferred which is widely used in wind turbine applications as a blade model. Three different jet positions ($L_{jet} = 0.1c, 0.26c, 0.36c$) and three different jet ratios ($R_{jet} = 0.1, 0.3, 0.5$) are selected as study parameters. The suction jet width is fixed and is 2.5% of chord length and the suction jet angle (θ_{jet}) is 90° to the local jet surface. Numerical analysis for a two-dimensional turbulent flow is performed using SST $k-\omega$ turbulence model with an angle of attack of $\alpha = 15^\circ$ and $Re=10^6$. Firstly, the effect of the suction jet position is investigated and then the effect of the suction jet ratio is examined with an optimum suction jet position that showed the best result. When the simulation results of the flow around the airfoil are examined, the best result is obtained when the suction jet position is jet-3 (0.36c) and the suction jet ratio is 0.5. C_L/C_D ratio is increased from 17.92 to 273.03 compared to the no-jet situation. By the application of the suction jet control method, the C_L is increased approximately from 1.211 to 1.8 and the C_D is decreased from 0.068 to 0.0066 in comparison to the uncontrolled case.

Keywords - Active control method, Boundary layer flow, S809 airfoil, Suction jet

I. GİRİŞ

Dünya’da giderek artan enerji tüketiminde, fosil kaynakların yetersizliği ve atmosferi kirletmesi gibi bir durum söz konusu iken enerjinin doğal ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi çok önem kazanmıştır. Bu hususta dikkat çeken bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisi dünya genelinde önemli bir paya sahip olmuştur. Rüzgardan elektrik enerjisi üretmek için yapılan rüzgar türbinleri geniş bir alanda kullanılmıştır. Rüzgar türbinlerinde hava akışını yönlendiren ve enerjinin elde edilmesinde kritik bir konumda olan türbin kanatlarının aerodinamik performanslarının artırılması günümüze değin sıklıkla araştırılmıştır. Kanat profili etrafında oluşan sınır tabaka akışının kontrol edilebilmesi ise bu çalışmaların asıl amacını oluşturmuştur.

Sınır tabaka akışı kontrol yöntemleri, pasif ve aktif akış kontrol yöntemleri olarak iki gruba ayrılır. Pasif akış kontrol yönteminde yardımcı güç ve kontrol döngüsü gerekmezken aktif akış kontrol yönteminde ise enerji harcanması gerekir. Pasif akış kontrolü, Microtab ve Gurney Flap gibi yapısal aygıtlar ile sağlanabilmektedir. Ancak, bu aygıtlar rüzgar türbini kanadının boyutu arttıkça yapısal ve yorulma yüklenmesine neden olabilmektedirler. Bu noktada sınır tabaka akışının kontrolünde aktif kontrol yöntemleri ciddi bir çalışma alanı oluşturmuştur. Örneğin, akış kontrol yöntemi olarak sürekli jet gibi aktif kontrol metodlarının kullanımı avantaj sağlamaktadır [1, 2].

Hassan [3], %12 kalınlığında VR-7 helikopter kanadının aerodinamiğini geliştirmek için bir emme ve üfleme jetinin eş zamanlı kullanımına dayanan yeni hibrit bir Aktif Akış Kontrolü (AAK) stratejisini değerlendirmek üzere sayısal bir çalışma yapmıştır. Mach sayısının 0.3 olduğu serbest akış için mevcut hibrit AAK kullanımının aerodinamik faydalar sağladığı görülmüştür. Bu yöntemle sağlanan ana faydalardan birisi olan kanat profili üzerinden ayrılmış sınır tabakanın kısmen yeniden bağlanabilmesinin darbeli emme jetinin kullanılmasıyla, uygun bir basınç gradyanı için, ayrılmış akış bölgesi ardındaki girdapların parçalanmasının ise darbeli üfleme jetinin kullanılmasıyla elde edildiği bildirilmiştir. Genç ve Kaynak [4], üfleme veya emme kullanarak NACA 2415 kanat profili üzerinde laminer ayrılma kabarcığının meydana geldiği akışın kontrolünü hesaplamalı olarak araştırmışlardır. Türbülanslı akışa geçiş bölgesinde olan 2×10^5 Reynolds sayısında ve $\alpha=8^\circ$ ’de, veter uzunluğunun %2.5 genişliğindeki tek bir jeti, kanatların üst yüzeyine yerleştirmişlerdir. Jet konumları, jet hızı oranları ve jet açıları gibi çeşitli parametreler ile yapmış oldukları yaklaşık 200 sayısal simülasyonu incelemişlerdir. Sonuçlar emme hızı oranının en büyük değerinde nispeten küçük emme hızı oranlarına göre akışa daha iyi etki ettiğini, daha düşük üfleme hızı oranının ise daha yüksek üfleme hızı oranlarına kıyasla akışa daha olumlu etki yaptığını göstermiştir. Liu vd. [5], kanat profilinin sürüklenmesini azaltmak için hücum kenarında emme ve kuyruk kenarında üfleme yapan bir emme-üfleme birleşik kontrol tekniği geliştirmişlerdir. Çözümler, düzeltilmiş Wilcox $k-\omega$ geçiş modelinin [6] emmeye bağlı geçiş konumunu en doğru şekilde tahmin ettiğini göstermiştir. Kanallar boyunca havanın kütleli debisinin etkisini, kanal genişliğini, aralığını ve boyutunu tartışmışlardır. Ayrıca sayısal sonuçlar, emme-üfleme kontrolünün sadece emme ile karşılaştırıldığında daha düşük sürüklenme sağladığını göstermiştir. Pehlivanoglu vd. [7], aerodinamik performansı artırmak için bir kanattan geçen transonik akışa uyguladıkları kontrolü optimize etmişlerdir. Kontrolü, kanat yüzeyinde emme veya üfleme kullanarak uygulamışlardır. Çalışmada, emme/üfleme portunun yeri ve açısı ile bu porttaki kütleli debi gibi değişkenleri incelemişlerdir. Optimizasyon ile aerodinamik performans %20’nin üzerinde artmıştır. Goodarzi vd. [8] aktif akış kontrolünü, NACA 0015 kanat profilinin üst yüzeyine yerleştirilen, veter uzunluğunun %2.5 genişliğindeki bir üfleme jetini kullanarak $Re=4.55 \times 10^5$ ’te 12° ile 17° aralığındaki 6 farklı hücum açısında araştırmışlardır. Jet konumu, jet hızı oranı ve jet açısı parametrelerini araştırmışlardır. Simülasyon sonuçları, üflemenin kaldırma miktarını artıracak ve sürüklemeyi azaltacağını göstermiştir. Ayrıca yüksek hücum açılarında, üfleme ayrılmayı geciktirmiş ve kanat profilinin performansını artırmıştır. Kang ve Park [2], akış kontrol cihazı ile donatılmış bir rüzgar türbini kanadının aerodinamik performansını, Ansys Fluent kullanarak incelemiştir. Hesaplama için Delft Teknik Üniversitesi’nde düşük türbülanslı rüzgar tüneline testleri yapılan S809 kanat profilini kullanmışlardır. Hücum açısının değişmesi ile birlikte, S809 kanat profili için kararlı durum sonuçlarını deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlar ve sonuçlar birbirleriyle iyi bir uyum göstermiştir. Jet yuvasının konumunu $x/c=0.6$ olarak belirlediklerinde sonuçlar $\alpha=14.24^\circ$ ’de maksimum kaldırma katsayısını vermiştir. Jet yuvasının konumunu $x/c=0.025$ olarak belirlediklerinde ise, sonuçlar $\alpha=14.24^\circ$ ve 20.15° ’te akış ayrılmasının geciktirildiğini göstermiştir. Yousefi vd. [1] ise araştırmalarında, bir NACA 0012 kanat profili üzerindeki sayısal akış kontrolünü sağlamak için emme işleminin etkisini değerlendirmişlerdir. Akış türünü, tamamen türbülanslı ($Re=5 \times 10^5$) ve türbülans modelini Menter’in kayma gerilmesi taşınım (Shear-Stress-Transport) [9] modeli olarak belirlemişlerdir. Kanat profili üzerindeki emme işlemini, üniform ve standart (dikey emme) kabul etmişlerdir.

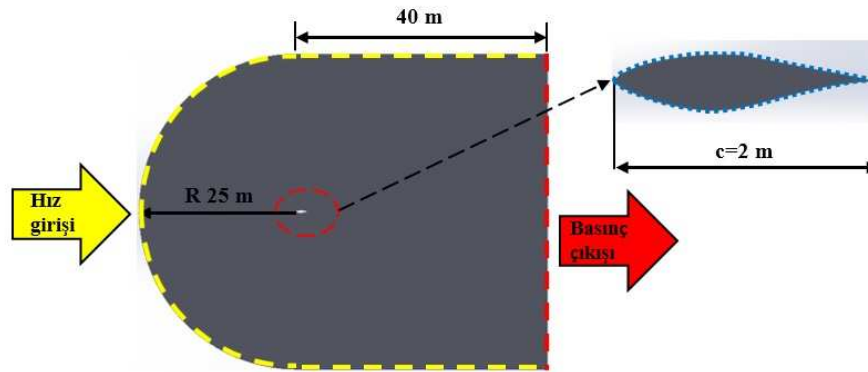
Sonuçlar, emme hızı oranı arttıkça kaldırma katsayısının arttığını ve sürüklenme katsayısının azaldığını göstermiştir. Kaldırma-sürüklenme oranındaki maksimum artış, emme hızı oranı 0.5 olduğunda sağlanmıştır. Ayrıca, emme jetinin genişliği artırıldığında kaldırma-sürüklenme oranı yükselmiş ve veter uzunluğunun %2.5'inde maksimum değerine ulaşmıştır. Azim vd. [10] NACA 4412 kanat profili için veter uzunluğunun %2'si genişliğindeki bir kanalı 5 farklı konuma yerleştirmişler ve kanallardaki emme basınçlarının sonuçlarını incelemişlerdir. Daha düşük basınçlı emmenin, sınır tabaka ayrılmasını kuyruk kenarına doğru hareket ettirerek akış ayrılmasını geciktirdiği sonucuna varmışlardır. Kanat profilinin üst yüzeyinde veter uzunluğunun %68'inde 65 kPa'lık emme basıncı kullanılmasıyla, 13 hücum açısı ve 0.6 Ma sayısı koşullarında türbülanslı akışa geçişin veter uzunluğunun %91'ine kadar geciktirilmesinin mümkün olduğu bildirilmiştir. Buna bağlı olarak laminer akış bölgesi uzamış ve kaldırma kuvveti artmıştır. Ayrıca, düşük hücum açısında, emme sonrası kaldırma-sürüklenme oranı da akış kontrolünün yapılmadığı duruma kıyasla yaklaşık 2.24 kat artmıştır. Shi ve vd. [11] Hibrit Laminer Akış Kontrolü'nü (HLAK), 0.5 mm ile 7 mm aralığındaki emme deliği genişlikleri için sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada emme katsayısının, emme deliği genişliğinin ve pozisyonunun etkisini analiz etmişlerdir. Tek delikli simülasyon sonuçları; emme katsayısını doğru bir şekilde arttırmanın ve delik konumunu kuyruk kenarına uygun bir konuma yerleştirmenin sürüklemeyi azaltmak ve türbülansa geçişi geciktirmek için kullanılabileceğini göstermiştir. Çalışmada ek olarak üç delikli emme kontrolü de irdelenmiştir. Üç delikli tasarımı optimize etmek için modifiye Radyal Temel Fonkiyonu (RTF) sinir ağı ve modifiye diferansiyel gelişim algoritmasını kullanmışlardır. Tasarım değişkenleri olarak emme katsayısı, delik genişliği, delik konumu ve delik aralığı seçilmiştir. Optimizasyondan sonra türbülansa geçişin %17 oranında geciktirilebildiği ve sürüklenme katsayısının %12.1 oranında azaltılabildiği görülmüştür.

Mevcut çalışmada, aktif kontrol yöntemlerinden biri olan sınır tabakadan hava emilmesi prensibine dayanan emme tekniği kullanılarak türbin kanatlarının aerodinamik performansının artırılması hedeflenmiştir. Çalışmada kanat modeli olarak rüzgar türbini uygulamalarında yaygın olarak kullanılan S809 kanat profili tercih edilmiştir. Literatürdeki çalışmalarda S809 kanat profili, özellikle tüm hücum açılarında diğer kanat profillerine kıyasla daha yüksek kaldırma katsayısı sağlaması gibi avantajları olduğundan sıklıkla kullanılmıştır [12]. Ayrıca literatürde, kanat profili üzerindeki sınır tabaka akışının emme tekniği ile aktif kontrolünde S809 kanat profiline ait bir araştırmanın mevcut olmayışı da bu çalışmanın motivasyonunu artırmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

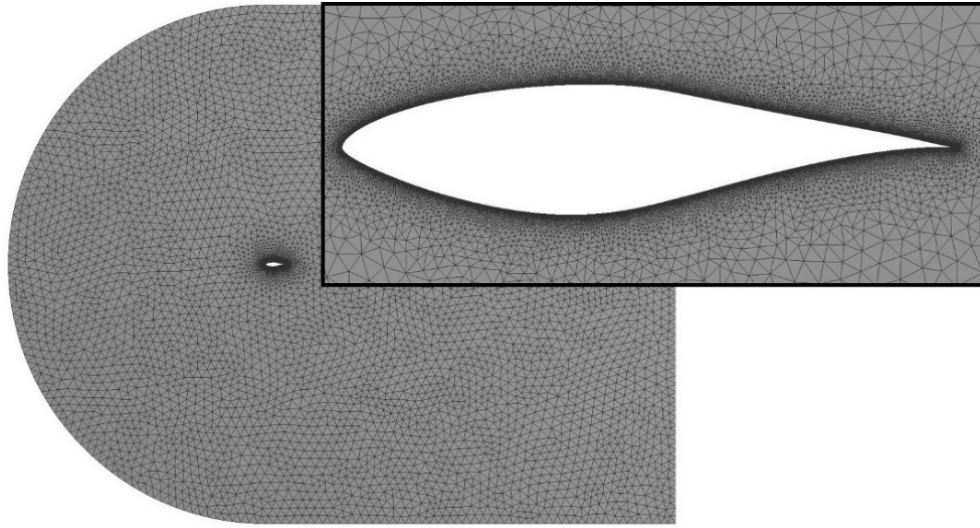
A. Numerik Model ve Ayrıklaştırma

Çalışmada analiz edilen S809 kanat profili ve etrafındaki hesaplama alanı Şekil 1'deki gibi oluşturulmuştur. Kanat geometrisinin oluşturulmasında kullanılan noktaların koordinatları Airfoil Tools [13] isimli kanat profili veri tabanından alınmıştır. Kanat 2 boyutlu ve 2 m veter uzunluğunda oluşturulmuş ve hesaplama bölgesi veter uzunluğu ile orantılı bir şekilde meydana getirilmiştir. Hesaplama bölgesindeki yarım dairenin yarıçapı veter uzunluğunun 12.5 katı (12.5c), dikdörtgen yüksekliği veter uzunluğunun 25 katı (25c) ve dikdörtgen uzunluğu veterin 20 katı (20c) olarak modellenmiştir.



Şekil 1. Sayısal model ve sınır koşulları

Nümerik analizlerin yapılacağı geometri oluşturulduktan sonra Reynolds-Ortalama Navier Stokes ve türbülans modelinden gelen ek taşınım denklemlerinin sayısal olarak çözümlenebilmesi için hesaplama bölgesinin ayrıklaştırılmasına geçilmiştir. Ayrıklaştırma işlemi literatürde yapılandırılmamış (unstructured) olarak adlandırılan ve Şekil 2’de verildiği gibi çoğunlukla üçgensel elemanlar içeren bir ağ yapısı ile gerçekleştirilmiştir. Ağ yapısı oluşturma işlemi iteratif bir süreç olarak ele alınmıştır. Oluşturulan ağ yapısının analiz sonuçlarını etkilememesi gerektiğinden ağ bağımsızlık testleri yapılmıştır. Ağ bağımsızlık testine sonraki bölümlerde detaylı olarak değinilmiştir. Testlerin sonucunda Şekil 2’de gösterilen ağ yapısının kullanılmasına karar verilmiştir. Bu ağ yapısı elde edilirken göz önüne alınan bir diğer husus da boyutsuz duvar uzaklığı (y^+) değeridir. Bahsedilen y^+ değerinin iyi bir sınır tabaka çözümlemesi yapılabilmesi için 1 ile 5 arasında olması gerektiğinden kanat yüzeyi üzerindeki ilk ağ tabakasının kalınlığı y^+ değerinin bahsi geçen değerler arasında kalmasını sağlayacak şekilde oluşturulmuştur. Kullanılması kararlaştırılan ağ yapısının genel özellikleri maksimum çarpıklık 0.84, ortalama en-boy oranı 5.3, diklik kalitesi ortalama 0.96 olarak belirlenmiştir.

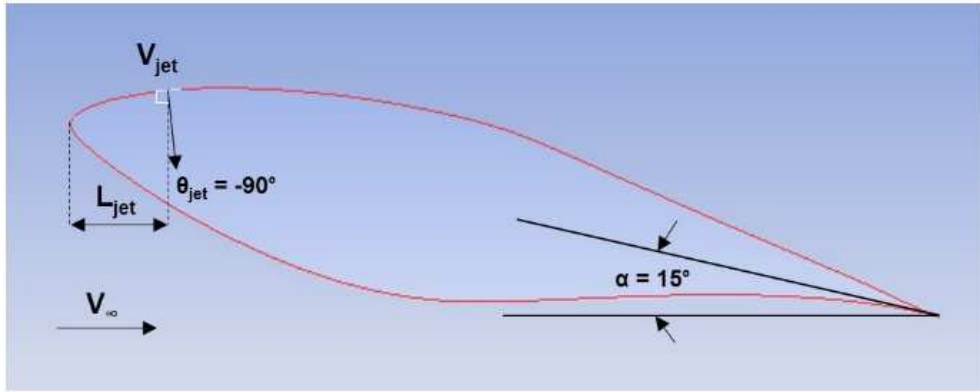


Şekil 2. Ağ yapısı

B. Sınır Koşulları

Çalışmada ayrıklaştırma işlemi de gerçekleştirildikten sonra çözümleme yapılmasına geçilmiştir. Nümerik modelde kullanılan sınır koşulları Şekil 1’de de gösterildiği gibi; serbest hava akış hızı girişi, basınç çıkışına ek olarak kanat yüzeyinde kaymama sınır koşulu ve jet deliğinde ise vakumun sağlanması için hız girişi olarak tanımlanmıştır. Serbest hava akış hızı 7.15 m/s olarak belirlenmiş, böylece hava yoğunluğunun 1.246 kg/m^3 , dinamik viskozitenin $1.778 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$ olduğu şartlarda 2 m veter uzunluğu için Reynolds sayısının 10^6 olması sağlanmıştır. Ayrıca serbest akış hava hızı kanada 15° hücum açısıyla gelecek şekilde oluşturulmuştur. Hesaplama alanında basınç çıkışı olarak adlandırılan bölgeye atmosferik basınç sınır koşulu verilmiştir. Kanat yüzeyi etrafındaki akış özellikleri; 2 boyutlu, sıkıştırılmaz, sürekli, türbülanslı ve viskoz olarak tanımlanmıştır. Analizlerde aerodinamik uygulamalarında sıklıkla başvurulan ve sınır tabaka ayrılmasının gözlemlendiği akışları çözümlemede oldukça başarılı iki denklemler SST k- ω türbülans modeli kullanılmıştır [14,15]. Bu türbülans modeli, viskoz sınır tabakayı çözümlenmek için k- ω ve duvardan uzak bölgeleri hesaplamak için ise k- ϵ modelini kullanan hibrit bir türbülans modeli olduğundan tercih edilmiştir [16].

Çalışmada daha önce bahsedilen emme sınır koşulu Şekil 3’te şematik olarak gösterilmiştir. Emme jeti uygulamasında kullanılan parametreler Tablo 1’de verildiği gibi sınır koşulu olarak uygulanmıştır.



Şekil 3. Emme jeti uygulanmasının şematik olarak gösterilmesi

Tablo 1. Emme jeti parametreleri

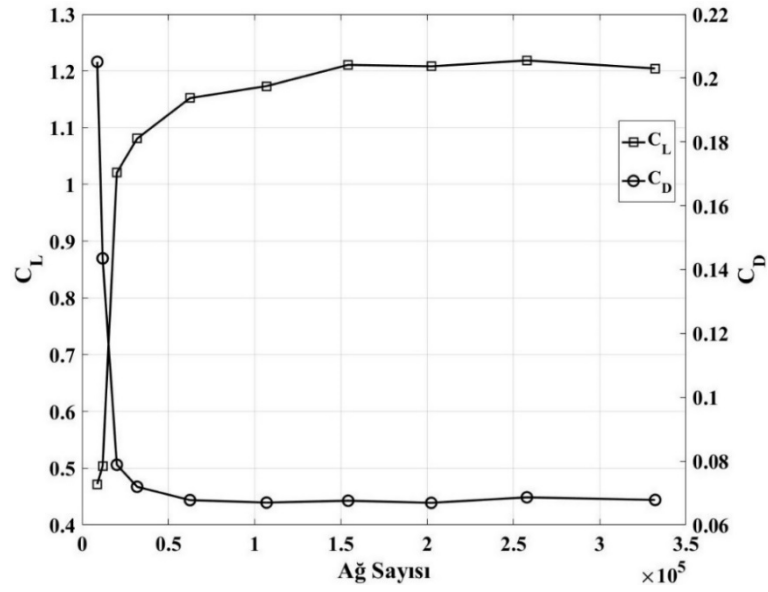
Emme jeti genişliği = %2.5c									
Jet konumu (L_{jet})	Jet-1 = 0.1c			Jet-2 = 0.26c			Jet-3 = 0.36c		
Jet hız oranı (R_{jet})	0.1	0.3	0.5	0.1	0.3	0.5	0.1	0.3	0.5
Jet açısı (θ_{jet})	-90°			-90°			-90°		

Analizler 3 ayrı jet konumu ve 3 ayrı emme jeti oranında gerçekleştirilmiştir. Emme jetleri sırasıyla veter uzunluğunun 0.1, 0.26 ve 0.36 katı mesafesinde ve kanat profilinin üst yüzeyinde konumlandırılmıştır. Şekil 3'te gösterilen θ_{jet} açısı bölgesel jet yüzeyine dik ve yüzeyden içeriye olacak şekilde (-90°) uygulanmıştır. Bu çalışmada emme jeti açısı ve emme jeti genişliği sabit tutularak emme jeti konumu ve emme jeti oranının etkisine ait sonuçlar ortaya konulmuştur. Emme jeti oranı (R_{jet}) boyutsuzlaştırma yapmak adına jet hızının serbest akış hızına oranı ($R_{jet} = V_{jet} / V_{\infty}$) şeklinde ifade edilmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. Ağ Yapısı Denetimi

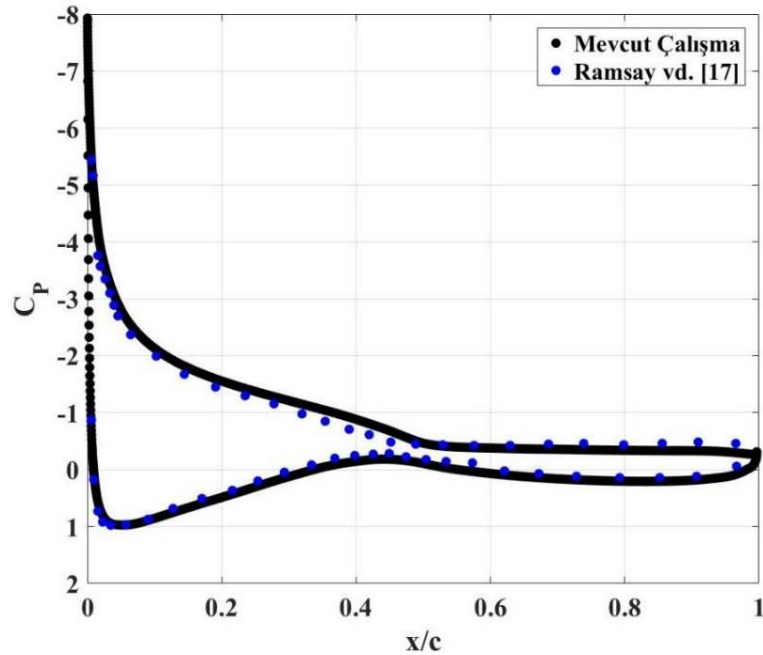
Sayısal çalışmada kullanılacak modelin ağ yapısından etkilenmemesi gerekir. Diğer bir deyişle analiz sonuçlarının ayrıklaştırma işleminden kaynaklı herhangi bir hata içermemesi çalışmanın güvenilirliği açısından önemlidir. Bu sebeple mevcut çalışma sonuçlarının ağ yapısından etkilenmediği ayrıklaştırma modelini bulma adına ağ bağımsızlık testi gerçekleştirilmiştir. Testler 15° hücum açısında yapılmıştır. Ağ yapılarına göre denetlenen sonuçlar kaldırma ve sürüklenme katsayıları olarak tercih edilmiştir. Bu sonuçların eleman sayısına göre değişimlerinin verildiği Şekil 4'te de görüldüğü gibi ağ elemanı sayısı yaklaşık 150000'e ulaştıktan sonra sonuçlarda değişme gözlenmemiştir. Buradan yola çıkarak 154207 eleman sayısına sahip ağ yapısının kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 4. Ağ bağımsızlık testi

B. Sonuçların Doğrulanması

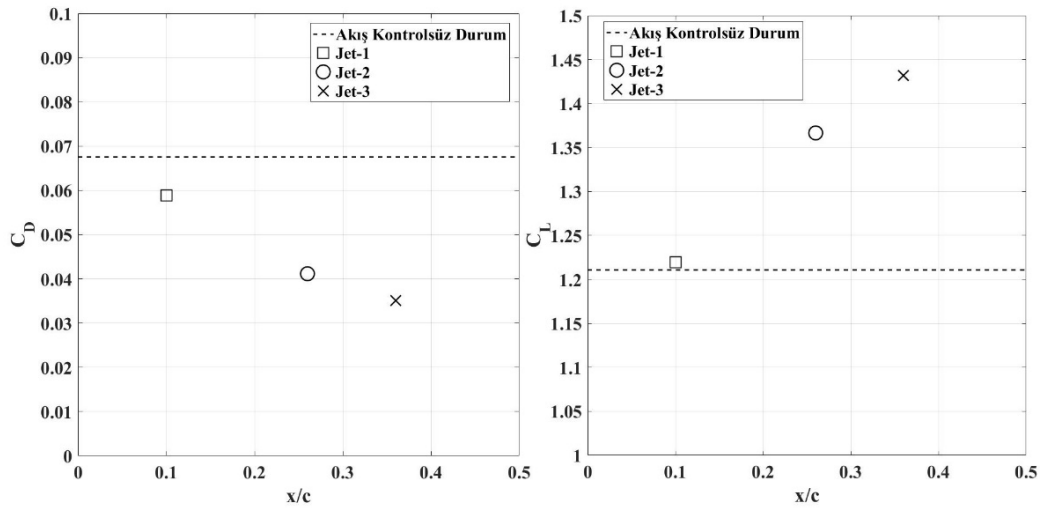
Araştırılan numerik modelin ağ yapısından bağımsız olduğuna karar verildikten sonra oluşturulan numerik modelin doğru bir şekilde çalışıp çalışmadığı denetlenmiştir. Doğrulama işlemi, jet ile akış kontrolünün yapılmadığı durum için 15° hücum açısı ve 10^6 Reynolds sayısı şartlarında elde edilen sonuçların aynı şartlarda Ramsay vd. [17] tarafından gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarıyla kıyaslanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucunda Şekil 5'te verildiği gibi numerik modelin deneysel veriler ile tutarlı olduğu görülmüştür. Oluşturulan sayısal modelin uygunluğu da denetlendikten sonra emme jeti uygulamalarına geçilmiştir.



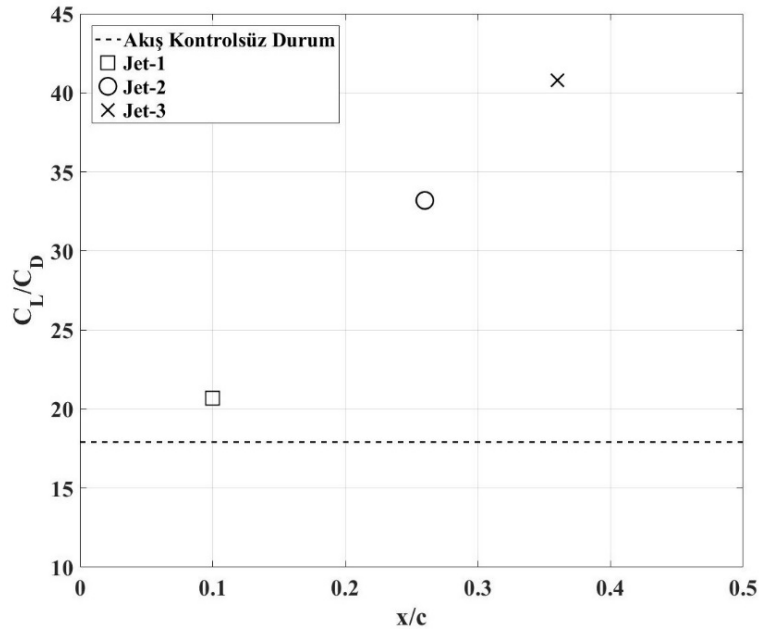
Şekil 5. Mevcut çalışmanın basınç katsayısı değerlerinin Ramsay vd. [17] tarafından raporlanan deneysel veriler ile karşılaştırılması

C. Emme Jeti Konumunun Etkisi

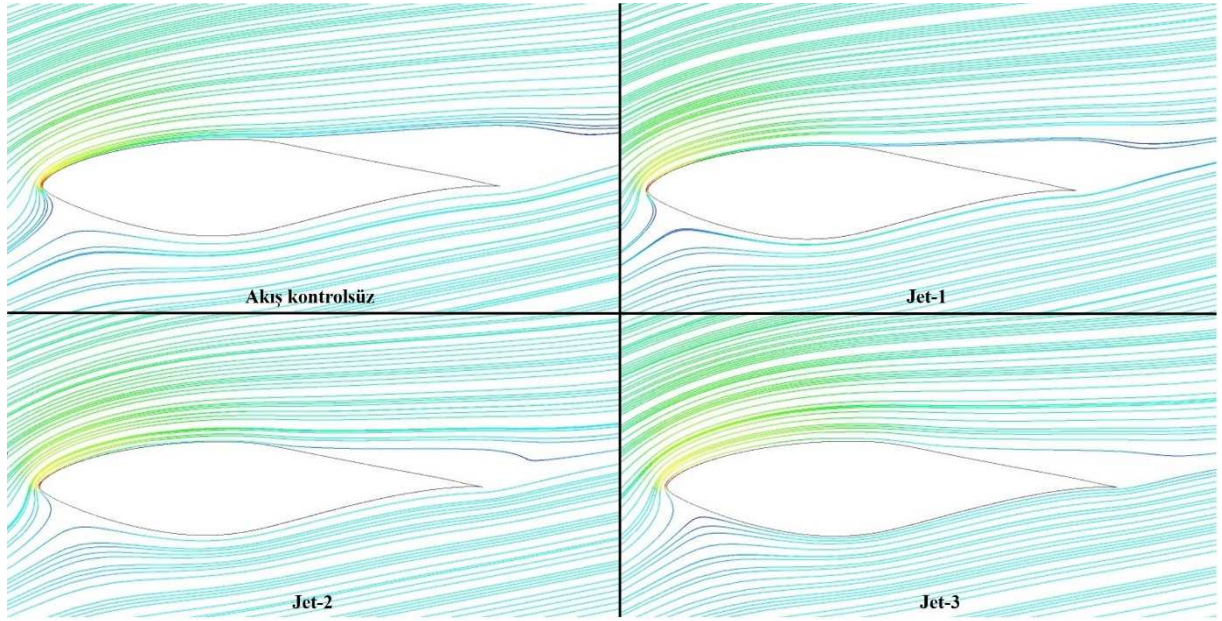
Çalışmada öncelikle emme jetinin kanat üzerinde nerede daha iyi sonuç vereceğini bulmak için konum araştırması yapılmıştır. Emme jeti açısı bölgesel emme jeti yüzeyine $\theta_{jet} = -90^\circ$ ve emme jeti oranı $R_{jet} = 0.1$ değerindeyken jet konumunun etkisi incelenmiştir. Jet konumu hücum kenarından kuyruk kenarına doğru yer değiştirdikçe sürükleme katsayısı değeri Şekil 6'daki gibi azalış, kaldırma katsayısı ise artış göstermiştir. Jetin konumunun nerede olduğu fark etmeksizin emme jetinin Şekil 7'deki C_L/C_D oranlarından da anlaşıldığı gibi kanat aerodinamik performansına olumlu etki yaptığı görülmekle beraber en faydalı konumun 0.36c (Jet-3) olduğu sonucuna varılmıştır. Akış kontrolü yapılmaması halinde oluşan akım çizgilerine bakıldığında Şekil 8'de akışın kanat yüzeyinden büyük bir ayrılma kabarcığı ile koptuğu görülmüştür. Emme ile akış kontrolü yapıldığında ise ayrılma kabarcığının giderek küçüldüğü ve Jet-3 için en küçük boyuta ulaştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Üç ayrı emme jeti konumu ve akış kontrolsüz durum için sürükleme (C_D) ve kaldırma (C_L) katsayısı değerleri



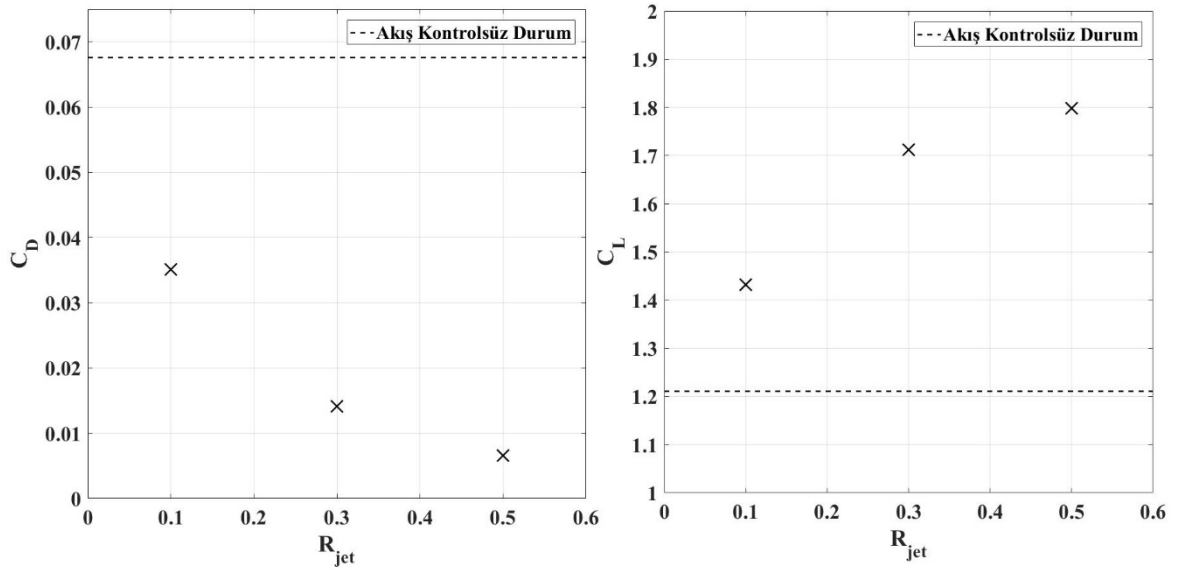
Şekil 7. Üç ayrı emme jeti konumu ve akış kontrolsüz durum için C_L/C_D oranları



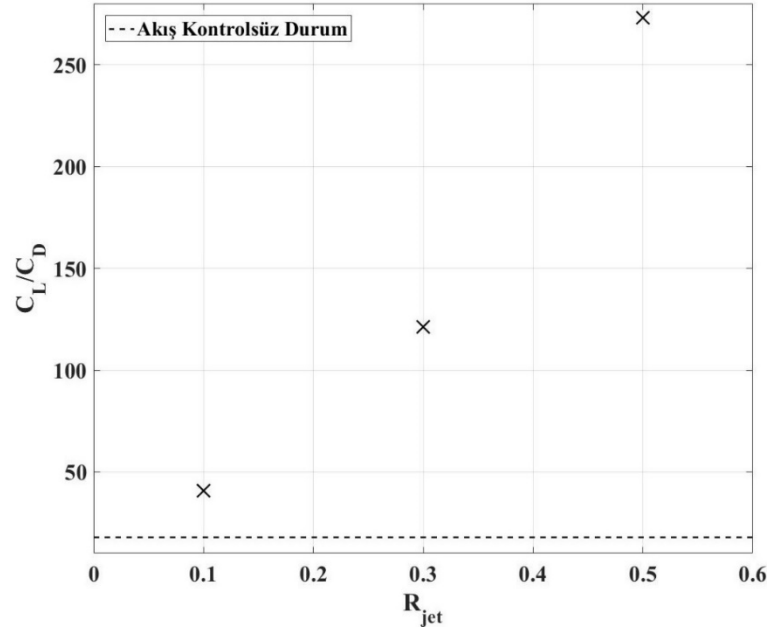
Şekil 8. Üç ayrı jet konumu ve akış kontrolsüz durum için kanat profili etrafındaki akım çizgileri

D. Emme Jeti Oranının Etkisi

En iyi emme jeti konumu 0.36c (Jet-3) olarak belirlendikten sonra emme jeti oranının (R_{jet}) etkisi araştırılmıştır. Emme jeti oranı 0.1, 0.3 ve 0.5 olarak yapılan sayısal analiz sonucunda jet oranı arttıkça C_D değeri Şekil 9'daki gibi azalış gösterirken, C_L değeri ise artış göstermiştir. Sürüklenme ve kaldırma katsayısı değerleri en iyi jet oranı olan $R_{jet} = 0.5$ için $C_D = 0.00659$ ve $C_L = 1.7982$ olarak elde edilmiştir. Akış kontrolünün olmadığı duruma kıyasla C_L/C_D oranları da Şekil 10'daki gibi artış göstermiştir.

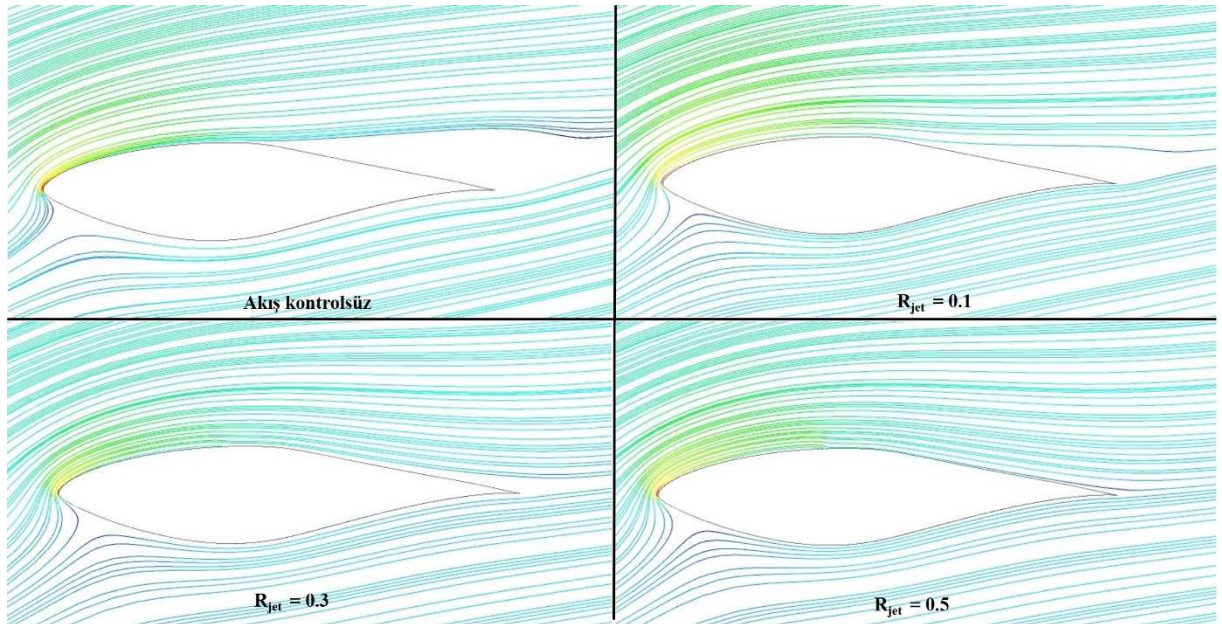


Şekil 9. Üç ayrı emme jeti oranı ve akış kontrolsüz durum için sürüklenme (C_D) ve kaldırma (C_L) katsayısı değerleri



Şekil 10. Üç ayrı emme jeti oranı ve akış kontrolsüz durum için C_L / C_D oranları

Jet konumu 0.36c olarak ayarlandığında, jet oranının 0.1 olması halinde akış kontrolünün yapılmadığı duruma göre ayrılma kabarcığında ciddi bir azalma meydana geldiği Şekil 11'de görülmektedir. Jet oranının artmasıyla ayrılma kabarcığı da giderek küçülmüş ve $R_{jet} = 0.3$ için akış ayrılması önlenebilmiştir.



Şekil 11. Üç ayrı jet oranı ve akış kontrolsüz durum için kanat profili etrafındaki akım çizgileri

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 15°'lik hücum açısında, 10^6 Reynolds sayısında ve iki boyutlu türbülanslı bir akıştaki sınır tabaka akışının, emme jeti uygulaması ile aktif olarak kontrolü sayısal olarak incelenmiştir. Kanat modeli olarak S809 kanat profili tercih edilmiştir. Çalışma sabit jet genişliği ve açısında, üç ayrı jet konumu ($L_{jet} = 0.1c, 0.26c, 0.36c$) ve üç ayrı jet oranı ($R_{jet}=0.1, 0.3, 0.5$) için gerçekleştirilmiştir. SST k- ω türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilen sayısal analizlerden aktif akış kontrolü için kullanılacak emme jetinin kanat üst yüzeyinde 0.36c'de konumlandırılması halinde, ayrılma kabarcığının küçültülerek daha yüksek kaldırma ve daha düşük sürüklemenin olduğu görülmüştür. Optimum jet konumunda emme oranı araştırıldığında ise, kanadın aerodinamik performansına en iyi etkinin $R_{jet} = 0.5$ 'te elde edildiği sonucuna varılmıştır. Bu durumda kaldırma katsayısı 1.8'e kadar yükselirken sürüklenme katsayısı 0.066'ya kadar düşmüş dolayısıyla C_L/C_D oranı 273'e kadar artmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Yousefi, K., Saleh, S. R., & Zahedi, P. (2013). Numerical investigation of suction and length of suction jet on aerodynamic characteristics of the NACA 0012 airfoil. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 1(2), 136-142.
- [2] Kang, T. J., & Park, W. G. (2013). Numerical investigation of active control for an S809 wind turbine airfoil. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 14(6), 1037-1041.
- [3] Hassan, A. (2006). A two-point active flow control strategy for improved airfoil stall/post-stall aerodynamics. In *44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit* (p. 99).
- [4] Genç, M. S., & Kaynak, Ü. (2009). Control of laminar separation bubble over a NACA2415 aerofoil at low re transitional flow using blowing/suction. In *International Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology (Vol. 13, No. Aerospace Sciences and Aviation Technology, ASAT-13, May 26–28, 2009, pp. 1-17)*. The Military Technical College.
- [5] Liu, P. Q., Duan, H. S., Chen, J. Z., & He, Y. W. (2010). Numerical study of suction-blowing flow control technology for an airfoil. *Journal of aircraft*, 47(1), 229-239.
- [6] Wilcox, D.C. (2004). *Turbulence modelling for CFD*, 2nd Edition, DCW Industries, Inc., ISBN 1-928729-10-X.
- [7] Pehlivanoglu, Y. V., Yağız, B., Kandil, O., & Baysal, O. (2010). Particle swarm optimization of suction and blowing on airfoils at transonic speeds. *Journal of aircraft*, 47(6), 1955-1965.
- [8] Goodarzi, M., Rahimi, M., & Fereidouni, R. (2012). Investigation of active flow control over NACA0015 airfoil via blowing. *International Journal of Aerospace Sciences*, 1(4), 57-63.
- [9] Menter, F.R. (1994). Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*, 32(8), 1598-1605.
- [10] Azim, R., Hasan, M. M., & Ali, M. (2015). Numerical investigation on the delay of boundary layer separation by suction for NACA 4412. *Procedia Engineering*, 105, 329-334.
- [11] Shi, Y., Bai, J., Hua, J., & Yang, T. (2015). Numerical analysis and optimization of boundary layer suction on airfoils. *Chinese Journal of Aeronautics*, 28(2), 357-367.
- [12] Douvi, E. C., & Margaris, D. P. (2012). Aerodynamic Characteristics of S809 vs. NACA 0012 Airfoil for Wind Turbine Applications. In *Proceedings of the 5th International Conference from Scientific Computing to Computational Engineering, 5th IC-SCCE, Athens Greece, 4-7 July*.
- [13] Airfoil Tools, <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=s809-nr>, (23.04.2020).

- [14] Erkan, O. & Özkan, M. (2020). Investigation of the flow over NACA 63-415 airfoil. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 3(2), 50-56.
- [15] Özkan, M., Thomas, P. J., Cooper, A. J., & Garrett, S. J. (2016). Comparison of the effects of surface roughness and confinement on rotor-stator cavity flow. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 11(1), 142-158.
- [16] Langtry, R.B., & Menter, F.R. (2009). Correlation-based transition modeling for unstructured parallelized computational fluid dynamics codes. *AIAA Journal*, 47(12), 2894-2906.
- [17] Ramsay, R. F., Hoffman, M. J., & Gregorek, G. M. (1995). Effects of grit roughness and pitch oscillations on the S809 airfoil (No. NREL/TP-442-7817). *National Renewable Energy Lab.*, Golden, CO (United States).

Araştırma Makalesi / Research Article

Mercimek Proteini İzolatı ve Unu Kullanılarak Bitkisel Bazlı Fırıncılık Ürünlerinin Geliştirilmesi

Burcu Utku¹, Arya Deniz Ayan², Zeynep Saliha Güneş³, Aslı Can Karaça^{4*}

Geliş / Received: 08/11/2019

Kabul / Accepted: 22/06/2020

ÖZ

Bu çalışmada, mercimek proteini izolatu ve unu kullanılarak bitkisel bazlı fıırıncılık ürünlerinin geliştirilmesi ve bu bileşenlerin kullanım oranının son ürünlerin kalite özelliklerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Mercimek proteini izolatu, yerel üreticiden temin edilen mercimekten alkali ekstraksiyon/izoelektrik çöktürme yöntemi ile elde edilmiştir. Mercimek proteini izolatu (%1-5) içeren kek numunelerinin nem ve yağ içeriğinin kontrole göre düşük, protein içeriğinin ise kontrolden yüksek olduğu görülmüştür. İzolat içeren numunelerde kek verimi kontrole göre düşük, pişme kaybı yüksek bulunurken; %3 ve 5 oranında izolat içeren numunelerin yüksekliğinin kontrole benzer olduğu görülmüştür. Hem kek kabuğu hem de içi için renk farkı artan izolat oranı ile artmıştır. Bitkisel bazlı kek formülasyonunda mercimek proteini izolatu uygulaması ürünün tekstür özelliklerinde farklılıklara neden olarak daha sert ve çignenebilirliği düşük bir yapı oluşturmuştur. İzolat içeren kek numunelerinin duysal özellikleri kontrolden farklı bulunmuştur. Kraker formülasyonunda kullanılan mercimek unu oranı (%20-50) arttıkça numunelerin protein içeriği artmış, nem ve yağ içerikleri düşmüştür. Formülasyonda mercimek unu oranı arttıkça numunelerin kontrol ile aralarındaki renk farkı da artmıştır. Krakerde mercimek unu kullanımı daha yumuşak ve esnek; fakat çignenebilirliği düşük bir yapı oluşturmuştur. Buna karşılık; %20 ve 40 oranında mercimek unu içeren kraker numuneleri duysal özellikler açısından kontrol numunesine benzer bulunmuştur. Elde edilen bulgular, ülkemize özgü mercimek türlerinin çeşitli fıırıncılık ürünlerinin formülasyonlarında iyileştirme yapılarak bitkisel protein kaynağı olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler- Mercimek proteini, Mercimek unu, Ürün uygulaması

¹İletişim: utku@itu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-4357-3805>)

İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul

²İletişim: ayana@itu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-9127-8734>)

İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul

³İletişim: zeynep.gunes@izu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4219-2368>)

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul

^{4*}Sorumlu yazar iletişim: cankaraca@itu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4137-0644>)

İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Development of Plant-Based Bakery Products Using Lentil Protein Isolate and Flour

ABSTRACT

The aim of this study was to develop plant-based bakery products using lentil protein isolate (1–5%) and lentil flour (20–50%) and to investigate the effects of these compounds on quality characteristics of final products. Lentil protein isolate was produced from local lentils using alkali extraction/isoelectric precipitation method. Moisture and fat content of cake samples with lentil protein isolate were lower compared to control; whereas their protein content was higher. Isolate-containing cake samples had lower cake yield and higher cooking loss compared to control. Height of cake samples with 3 and 5% isolate was found to be similar to control. Colour difference increased as the isolate amount increased. Isolate-containing cake samples were harder and had lower chewiness compared to control. Sensory properties of cake samples with isolate were found to be different than the control sample. As the lentil flour ratio increased from 20 to 50% in cracker formulations, protein content of the products increased. However moisture and fat content decreased. Use of lentil flour in crackers resulted in a colour difference which increased as the amount of lentil flour increased. Crackers with lentil flour were softer and more elastic; however their chewiness was lower compared to control. On the other hand, crackers with 20 and 40% lentil flour were found to be similar to control in terms of sensory properties. Findings of the present study indicate that lentils grown in our country can be utilized as a plant protein source in bakery product formulations with some modifications.

Keywords- *Lentil protein, Lentil flour, Product application*

I. GİRİŞ

Günümüzde bitkisel bazlı beslenme tercihlerine yönelik eğilimin artması, bitkisel kaynaklı hammaddelerin daha ulaşılabilir ve ucuz olması ve sağlık ile ilgili gerekliliklerden dolayı bitkisel kaynaklı proteinlere yönelik ilgi artmıştır. Güncel çalışmalarda özellikle yeni geliştirilen gıda ürünlerinin formülasyonlarında bitkisel kaynaklı proteinler tercih edilmeye başlanmıştır. Buna ek olarak var olan ürünlerin formülasyonlarındaki proteinlere bitkisel kaynaklı alternatifler geliştirmeye yönelik çalışmalar da mevcuttur. Dolayısıyla baklagiller, tahıllar, yağlı tohumların küspeleri ve kuruyemişler gibi çeşitli hammaddelerden elde edilen bitkisel kaynaklı proteinlerin bileşimi, fizyokimyasal ve fonksiyonel özelliklerine yönelik bilimsel çalışmalar artmakta, ürün çalışmaları perspektifi de zamanla gelişmektedir. Çözünürlük, su ve yağ tutma, emülsiyon oluşturma, köpük oluşturma ve jelleşme gibi çeşitli fonksiyonel özellikleri ile baklagillerden elde edilen proteinler pek çok gıda ürünüde bileşen olarak kullanılmaya potansiyeline sahiptirler [1].

Ülkemizde nohuttan sonra en yüksek miktarda üretilen baklagil olan mercimeğin (*Lens culinaris* Medik) 2018 yılı üretim miktarı 353 000 tonu bulmuştur [2]. Mercimek, soya fasulyesinden sonra en yüksek oranda protein içeren baklagildir [3]. Mercimeğin protein içeriği genetik faktörlerden ve çevre koşullarından etkilenmekte olup; %22–30 arasında değişmektedir [4]. Mercimek proteinleri ağırlıklı olarak globulinler (%50–65) ve albuminlerden (%10–25) oluşmaktadır [1,5]. Baklagillerden asit veya alkali ile ekstraksiyon/izoelektrik çöktürme, tuz ile ekstraksiyon/misel çöktürme, hava ile ayırma ve ultrafiltrasyon gibi çeşitli metotlar kullanılarak protein konsantr ve izolatları üretilmektedir [1]. Mercimek proteinlerinin su ve yağ tutma kapasitesi, köpük oluşturma ve emülsiyon oluşturma gibi fonksiyonel özellikleri çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir [5-7].

Bu çalışmada, farklı oranlarda mercimek proteini izolatu ve mercimek unu kullanımının fırıncılık ürünlerinin çeşitli kalite özelliklerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Tamamen bitkisel kaynaklı hammaddelerin kullanıldığı ürün formülasyonları ile çalışılmış; mercimek proteini izolatu uygulaması için model ürün olarak kek; mercimek unu uygulaması için ise kraker seçilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

A. Malzemeler

Çalışmada kullanılan mercimek unu, yerel üreticiden temin edilen mercimeğin laboratuvar ölçekli öğütücüde öğütülmesi ile elde edilmiştir. Kek ve kraker üretiminde kullanılan hammaddeler yerel marketlerden temin edilmiştir. Analizlerde kullanılan kimyasallar analitik saflıktadır.

B. Mercimek Proteini İzolatı Eldesi

Mercimek proteini izolatu, Joshi ve diğ. [7]'nin belirttiği metot kullanılarak elde edilmiştir. Mercimek unu ve distile su 1:10 oranında karıştırılmıştır. Ardından 0,1 M NaOH çözeltisi eklenerek pH değeri 9'a çıkarılan karışım, oda sıcaklığında manyetik karıştırıcı yardımı ile 1 saat süreyle karıştırılmıştır. Karışım 8000 rpm'de 4°C'de 20 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonunda çözünmeyen faz uzaklaştırılmıştır. Süpernatant toplanarak pH'ı 1 M HCl ile 4,5'a ayarlanmış ve 8000 rpm'de 4°C'de 20 dakika süreyle santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonunda sıvı faz uzaklaştırılırken çöken faz petri kaplarına aktarılmış ve dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulmuştur. Elde edilen toz formdaki protein izolatu sıkıca kapalı bir kap içerisinde hava almayacak şekilde 4°C'de muhafaza edilmiştir.

C. Kek ve Kraker Numunelerinin Bileşimi ve Hazırlanması

Kek numunelerinin hazırlanmasında Jarpa-Parra ve diğ. [5]'nin çalışmasında kullanılan formülasyondan yararlanılmış; yumurta ve süt içeren kontrol örneği ve %1, 3 ve 5 oranlarında mercimek proteini izolatu içeren örnekler olmak üzere toplam dört farklı örnek hazırlanmıştır (Tablo 1). Özellikle mercimek proteini izolatu su içerisinde çözündürülmüştür. İzolat çözeltisine şeker eklenerek elektrikli karıştırıcı yardımı ile 2 dakika boyunca karıştırılarak köpük oluşumu sağlanmıştır. Ardından toz bileşenler (buğday unu, kakao, kabartma tozu, vanilin, karbonat) ve sıvı yağ eklenerek 2 dakika daha karıştırılmıştır. Elde edilen homojen karışım karton kek pişirme kalıplarına aktarılmış ve önceden ısıtılmış elektrikli fırında 180°C'de 40 dakika süreyle pişirilmiştir.

Tablo 1. Kek numunelerinin hazırlanmasında kullanılan formülasyonlar.

Bileşen (g/100 g)	Kontrol	%1 İzolat	%3 İzolat	%5 İzolat
Buğday unu	18,50	18,50	18,50	18,50
Şeker	23,00	23,00	23,00	23,00
Mercimek proteini izolatu	-	1,00	3,00	5,00
Su	-	39,00	37,00	35,00
Yumurta	13,00	-	-	-
Süt	27,00	-	-	-
Ayçiçek yağı	14,00	14,00	14,00	14,00
Kabartma tozu	0,20	0,20	0,20	0,20
Vanilin	1,35	1,35	1,35	1,35
Karbonat	0,20	0,20	0,20	0,20
Kakao	2,75	2,75	2,75	2,75

Mercimek unu kullanılarak hazırlanan kraker örneklerinin formülasyonlarının belirlenmesinde Millar ve diğ. [8] tarafından gerçekleştirilen çalışmadan faydalanılmıştır. Buğday unu içeren kontrol örneği ve %20, %40 ve %50 oranında mercimek unu içeren örnekler olmak üzere toplam dört farklı formülasyon hazırlanmıştır (Tablo 2). Belirli oranlarda buğday unu, mercimek unu, su, zeytin ezmesi, tuz, şeker ve kabartma tozu karıştırılarak hamur haline getirilmiştir. Bu hamur düz bir tepsiye yaklaşık 2,5 mm kalınlığında yayılarak kare şeklinde kesilmiş ve önceden ısıtılmış elektrikli fırında 175°C'de 15 dakika süreyle pişirilmiştir.

Tablo 2. Kraker numunelerinin hazırlanmasında kullanılan formülasyonlar.

Bileşen (g/100 g)	Kontrol	%20 mercimek unu	%40 mercimek unu	%50 mercimek unu
Buğday unu	57,00	45,60	34,20	28,50
Mercimek unu	-	11,40	22,80	28,50
Zeytin ezmesi	14,20	14,20	14,20	14,20
Su	25,60	25,60	25,60	25,60
Şeker	1,10	1,10	1,10	1,10
Tuz	1,70	1,70	1,70	1,70
Kabartma tozu	0,40	0,40	0,40	0,40

D. Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi

1) *Besin Öğeleri Kompozisyonu:* Mercimek unu, mercimek proteini izolatu, kek ve kraker numunelerinin besin öğeleri kompozisyonu AOAC [9] resmi metotları esas alınarak belirlenmiştir.

2) *Kek Numunelerine Uygulanan Analizler:* Kek hamurunun özgül ağırlığı Paraskevopoulou ve diğ. [10] tarafından tanımlanan metot esas alınarak; kek hamurunun ağırlığının, eşit hacimdeki saf suyun ağırlığına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Kek verimi ve pişme kaybı Palamutoğlu ve diğ. [11] tarafından tanımlanan metoda göre belirlenmiştir. Kek yüksekliği numuneler ortadan dikey olarak kesilerek ve en yüksek noktanın yüksekliği ölçülerek belirlenmiştir [5]. Tekstür Profili Analizi (TPA) pişirme işleminin üzerinden yaklaşık 3 saat geçtikten sonra keklere Ratnayake ve diğ. [12] tarafından tanımlanan metotta bazı değişiklikler yapılarak, Lloyd TAPlus tekstür analiz cihazı (Lloyd, İngiltere) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kek numunelerinin renk ölçümü ve kontrol numunesi ile aralarındaki toplam renk farkı (ΔE^*) hesabı, Lin ve diğ. [13] tarafından tanımlanan metoda göre, Konica Minolta Chroma Meter CR-400 renk ölçüm cihazı (Konica Minolta, Japonya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları CIE (L^* , a^* , b^*) sistemi ile ifade edilmiştir. Esmerleşme indeksi ise Shaabani ve diğ. [14] tarafından tanımlanan metoda göre hesaplanmıştır.

3) *Kraker Numunelerine Uygulanan Analizler*: Kraker numunelerinin Tekstür Profili Analizi (TPA) Millar ve diğ. [15] tarafından tanımlanan metoda göre, Lloyd TAPlus tekstür analiz cihazı (Lloyd, İngiltere) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kraker numunelerinin renk ölçümü ve kontrol numunesi ile diğer numuneler arasındaki toplam renk farkı (ΔE^*) hesabı, Konica Minolta Chroma Meter CR-400 renk ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [15]. Ölçüm sonuçları CIE (L^* , a^* , b^*) sistemi ile ifade edilmiştir.

4) *Duyusal Analiz*: Kek ve kraker numunelerine uygulanan duysal analiz, 20 eğitimsiz panelist ile gerçekleştirilmiştir. Panelistlere Meilgaard ve diğ. [16] tarafından tanımlandığı şekilde, kontrole göre farklılık testi uygulanmıştır. Her örnek; panelistlerin aralarında ilişki kuramayacağı şekilde, rastgele üç haneli kod ile etiketlenmiştir. Örnekler; kontrol ile birlikte ikili gruplar halinde panelistlere sunulmuş ve kontrol ile bir diğer numunenin arasındaki farklılığı 0 ile 10 arasında puanlamaları istenmiştir. Bu puanlama 0; tamamen aynı, 10; tamamen farklı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

E. İstatistiksel Analiz

Tüm ölçümler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analiz için SPSS (Versiyon 15, IBM, ABD) programı kullanılmıştır. Besin öğeleri kompozisyonu ve ürün kalite özellikleri arasındaki farklılıklar Tek-Yollu ANOVA ve Scheffe Testi ile; duysal analiz sonuçları arasındaki farklılıklar ise Dunnett Çoklu Karşılaştırma Testi ile $p < 0,05$ önem düzeyinde belirlenmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. Mercimek Unu ve Mercimek Proteini İzolatının Besin Öğeleri Kompozisyonu

Çalışmada yerel üreticilerden temin edilip öğütülerek elde edilen mercimek ununun ve bu undan alkali ekstraksiyon/izoelektrik çöktürme metodu ile elde edilen mercimek proteini izolatının besin öğeleri kompozisyonu Tablo 3'te gösterilmiştir. Literatürde farklı mercimek türleri için belirtilen protein oranları %18,4–31,4 aralığında değişmektedir [6,17,18]. Çalışmamızda kullanılan mercimek ununun protein içeriği (%26), literatürdeki çalışmalarda rapor edilen değerlere benzerlik göstermektedir. Mercimek unundan alkali ekstraksiyon/izoelektrik çöktürme metodu ile elde edilen mercimek proteini izolatının protein içeriği ise %87,0 olarak bulunmuştur (Tablo 3). Çeşitli baklagillerden izoelektrik çöktürme metodu ile elde edilen protein izolatlarının fizikokimyasal özelliklerinin incelendiği çalışmada, mercimek protein izolatına ait protein değeri %84,8 olarak bulunmuştur [19]. Can Karaca ve diğ. [6] yaptıkları çalışmada izoelektrik çöktürme metodu kullanılarak elde edilen mercimek proteini izolatının protein içeriğini %81,9 olarak bulmuştur. Yağı uzaklaştırılmış mercimek unundan en yüksek verimle protein elde etmek amacıyla yürütülen bir diğer çalışmada, izoelektrik çöktürme yöntemiyle elde edilen izolatın protein miktarı %84,1 olarak belirlenmiştir [20]. Baklagillerden protein ekstraksiyonunda çalışılan hammaddenin türü, ekstraksiyonda kullanılan yöntem, un:solvent oranı, sıcaklık, pH, süre gibi çalışma koşulları protein ekstraksiyon verimini etkilemekle beraber; çalışmamızda elde edilen mercimek proteini izolatının protein oranının literatürdeki çalışmalarda rapor edilen değerlere benzer olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Mercimek unu ve mercimek proteini izolatının besin öğeleri kompozisyonu¹.

	Nem (g/100 g)	Protein (g/100 g)	Yağ (g/100 g)	Karbonhidrat ² (g/100 g)	Kül (g/100 g)
Mercimek unu	9,4 ± 0,1	26,0 ± 0,3	1,0 ± 0,0	60,9	2,7 ± 0,0
Mercimek proteini izolatı	5,6 ± 0,3	87,0 ± 0,7	0,9 ± 0,1	3,1	3,4 ± 0,0

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir.

² Karbonhidrat içeriği farktan hesaplanmıştır.

B. Mercimek Proteini İzolatı İçeren Bitkisel Bazlı Kek Geliştirilmesi

Çalışmamızda yerel üreticilerden temin edilen mercimek unundan elde edilen protein izolatı kullanılarak bitkisel bazlı kek formülasyonu geliştirilmesi amaçlanmış ve mercimek proteini izolatı oranının son ürünün çeşitli kalite özelliklerine etkileri incelenmiştir. Yumurta ve süt içeren kontrol numunesi ve bunların yerine %1, 3 ve 5 oranında mercimek proteini izolatı içeren kek numunelerinin besin öğeleri kompozisyonu Tablo 4'te gösterilmiştir.

Yumurta ve süt içeren kontrol numunesinin nem içeriğinin mercimek proteini izolatu içeren numunelerin nem içeriğinden yüksek olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Çalışmamıza benzer olarak, Lin ve diğ. [13] yumurta yerine bezelye protein izolatu kullanılan kekin nem içeriğinin kontrol numunesine göre düşük olduğunu gözlemlemiş ve bu sonucun baklagil proteinlerinin su tutma kapasitesinin yumurta proteinlerinden düşük olmasından kaynaklanabileceğini bildirmiştir. Çalışmamızda izolat içeren kek numunelerinde izolat oranı arttıkça nem içeriğinin düştüğü görülmüştür ($p<0,05$). Jarpa-Parra ve diğ. [5] mercimek proteini kullanarak hazırladıkları kek hamurlarında kullanılan protein oranı arttıkça nem oranının azaldığını bildirmişlerdir. Artan protein oranı ile beraber gözlemlenen nem düşüşünün nedeninin mercimek proteininin üründeki bağlı suyun oranını artırması ve suyun serbest forma geçerek üründen uzaklaşmasını güçleştirilmesi olduğu belirtilmiştir. Beklendiği üzere, formülasyona eklenen mercimek proteini izolatu oranı arttıkça kek numunelerinin protein içeriği de artmıştır. Yüzde 3 oranında mercimek protein izolatu içeren kek numunesinin protein içeriği kontrol ile benzer bulunmuştur ($p>0,05$). Yumurta ve süt içeren kontrol numunesinin yağ içeriğinin mercimek proteini izolatu içeren numunelerin yağ içeriğinden yüksek olduğu görülmüş ($p<0,05$); numunelerin kül içerikleri arasında ise belirgin farklar gözlemlenmemiştir.

Tablo 4. Kek numunelerinin besin öğeleri kompozisyonu¹.

	Nem (g/100 g)	Protein (g/100 g)	Yağ (g/100 g)	Karbonhidrat ² (g/100 g)	Kül (g/100 g)
Kontrol	32,5 ± 0,0 ^a	4,7 ± 0,0 ^b	15,2 ± 0,1 ^a	46,6	1,0 ± 0,0 ^b
% 1 Mercimek proteini izolatu içeren kek	24,2 ± 0,6 ^b	3,6 ± 0,3 ^c	13,3 ± 0,2 ^b	57,7	1,2 ± 0,0 ^a
% 3 Mercimek proteini izolatu içeren kek	23,3 ± 0,6 ^b	4,8 ± 0,0 ^b	13,4 ± 0,4 ^b	57,5	1,0 ± 0,1 ^b
% 5 Mercimek proteini izolatu içeren kek	16,4 ± 0,2 ^c	6,5 ± 0,8 ^a	13,4 ± 0,3 ^b	62,6	1,1 ± 0,0 ^{ab}

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p<0,05$).

² Karbonhidrat içeriği farktan hesaplanmıştır.

Kek numunelerinin pişme ile ilgili fiziksel özellikleri Tablo 5'te gösterilmiştir. Mercimek proteini izolatu içeren kek numunelerinin hamur özgül ağırlığının kontrol numunesine göre yüksek olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Çalışmamıza benzer sonuçlar mercimek proteini izolatu [5] ve soya proteini izolatu [13] içeren kekler için de rapor edilmiş ve özgül ağırlıktaki artışın hamura giren hava girişinin azaldığının göstergesi olduğu bildirilmiştir. Bu olgunun baklagillerden elde edilen proteinlerinin köpük oluşturma kapasitesinin yumurta proteinlerinden düşük olmasından kaynaklanabileceği ifade edilmiştir. Mercimek proteini izolatu içeren numunelerin kek veriminin kontrole göre düşük olduğu ve pişme kaybının kontrolden yüksek olduğu görülmüştür ($p<0,05$). İzolat içeren numuneler içerisinde artan izolat oranına bağlı bir trend gözlemlenmemiştir ($p>0,05$). Kek verimi hamurdan uzaklaşan su ile azaldığından, izolat içeren numunelerde gözlenen düşük verim, mercimek proteini izolatu su tutma kapasitesinin yumurta proteinlerinden düşük olmasına işaret etmektedir. Kek yüksekliği değerleri incelendiğinde, %3 ve 5 oranında izolat içeren numunelerin yüksekliğinin kontrole yakın olduğu görülmüştür. Kek yüksekliğindeki iyileşme, artan protein oranı ile hamurun viskoelastik özelliklerinin gelişmesi ve ürünün çırpma sırasında daha fazla hava tutması ile ilişkilendirilmektedir [21].

Tablo 5. Kek numunelerinin fiziksel özellikleri¹.

	Hamur Özgül Ağırlığı	Kek Verimi (%)	Pişme Kaybı (%)	Yükseklik (mm)
Kontrol	1,22 ± 0,02 ^c	90,7 ± 0,1 ^a	9,3 ± 0,1 ^b	25,3 ± 0,6 ^{ab}
% 1 Mercimek proteini izolatu içeren kek	1,35 ± 0,00 ^b	85,1 ± 0,1 ^b	14,9 ± 0,1 ^a	23,3 ± 0,6 ^c
% 3 Mercimek proteini izolatu içeren kek	1,37 ± 0,00 ^b	85,4 ± 0,1 ^b	14,6 ± 0,1 ^a	24,7 ± 0,6 ^{bc}
% 5 Mercimek proteini izolatu içeren kek	1,56 ± 0,01 ^a	85,4 ± 0,2 ^b	14,6 ± 0,2 ^a	26,3 ± 0,6 ^a

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p<0,05$).

Kek numunelerinin kabuk ve iç kısımlarına ait renk parametreleri ve esmerleşme indeksi değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir. Ölçümde kullanılan CIE renk parametreleri L^* ($L^* = 0$; siyah ve $L^* = 100$; beyaz), a^* ($-a^*$; yeşillik ve $+a^*$; kırmızılık) ve b^* ($-b^*$; mavilik ve $+b^*$; sarılık) değerleridir [22]. Mercimek proteini izolatu içeren kek numunelerinde, özellikle %3 ve 5 oranında izolat içerenlerde kek kabuğunun ve içinin L^* değerinin kontrolden düşük olduğu ($p < 0,05$); dolayısıyla siyaha yakınlığın arttığı görülmüştür. Benzer sonuçlar bezelye proteini izolatu [13], mercimek proteini izolatu [5] ve mercimek unu [23] içeren kekler için de rapor edilmiştir. Yine izolat içeren keklerde izolat oranı arttıkça özellikle kabukta a^* ve b^* değerlerinin düştüğü; bir başka deyişle kabuğun daha az kırmızısı ve sarımsı bir görünüm aldığı gözlemlenmiştir. Baklagil proteini içeren keklerde kabuk renginin Maillard reaksiyonundan ve pişirme sırasında gerçekleşen karamelizasyondan etkilendiği bildirilmiştir [13]. Kontrol numunesi ile farklı oranlarda izolat içeren kek numunelerinin arasındaki renk farkı (ΔE^*) formülasyonda kullanılan izolat oranından etkilenmiştir. Kontrol numunesi ile diğer numuneler arasındaki ΔE^* değeri 3 ve üzerinde ise renk farkının insan gözü ile algılanabilecek düzeyde olduğu belirtilmektedir [5]. Özellikle %3 ve 5 oranında izolat içeren numuneler için renk farkı gözle ayırt edilebilecek düzeydedir. Formülasyondaki izolat oranı arttıkça hem kek kabuğu hem de içi için renk farkının arttığı görülmüştür ($p < 0,05$). Kontrol numunesi ile %1 ve 3 oranında izolat içeren numunelerin kabuk ve iç kısımları için ölçülen esmerleşme indeksi değerleri benzer bulunmuştur ($p > 0,05$). En yüksek oranda izolat içeren numunenin kabuk kısmı için ölçülen esmerleşme indeksi ise diğer numunelerden düşük bulunmuştur ($p < 0,05$). Kek hamurunun yapısında bulunan hava miktarının ve fırının içinde gerçekleşen genleşmenin kararma oranını düşürebileceği ve son ürünün kabuk rengini etkileyebileceği bildirilmiştir [14]. Bu bağlamda %5 oranında izolat içeren numunenin yüksek protein içeriğinin (Tablo 4) hamurda tutulan hava miktarının artmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Bu numunenin yüksekliğinin diğerlerinden yüksek olması da (Tablo 5) bu olguyu destekleyici niteliktedir.

Tablo 6. Kek numunelerinin renk parametreleri¹.

	L^*	a^*	b^*	ΔE^*	Esmerleşme indeksi
Kontrol					
Kabuk	28,71 ± 0,23 ^a	9,13 ± 0,17 ^a	9,60 ± 0,26 ^a	-	63,11 ± 1,04 ^a
İç	20,26 ± 0,72 ^c	9,65 ± 0,28 ^d	10,65 ± 0,40 ^c	-	106,28 ± 3,67 ^{cd}
%1 Mercimek proteini izolatu içeren kek					
Kabuk	28,56 ± 0,96 ^{ab}	8,92 ± 0,10 ^a	9,17 ± 0,40 ^{ab}	0,95 ^b	60,90 ± 4,59 ^a
İç	19,49 ± 0,69 ^c	9,49 ± 0,17 ^d	9,68 ± 0,18 ^d	1,33 ^d	101,56 ± 3,72 ^d
%3 Mercimek proteini izolatu içeren kek					
Kabuk	26,91 ± 0,65 ^b	8,31 ± 0,02 ^b	9,14 ± 0,14 ^{ab}	2,04 ^b	63,27 ± 1,10 ^a
İç	17,12 ± 0,21 ^d	9,22 ± 0,28 ^d	9,03 ± 0,09 ^d	3,57 ^{cd}	110,67 ± 3,06 ^{cd}
%5 Mercimek proteini izolatu içeren kek					
Kabuk	26,85 ± 0,19 ^b	5,51 ± 0,17 ^c	8,62 ± 0,02 ^b	4,20 ^a	53,21 ± 0,30 ^b
İç	16,65 ± 0,43 ^d	9,78 ± 0,71 ^d	8,99 ± 0,46 ^d	4,07 ^c	116,10 ± 5,71 ^c

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p < 0,05$).

Kek numunelerinin tekstür analizi sonuçları Tablo 7'de gösterilmiştir. Kekte mercimek proteini izolatu uygulaması ürünün tekstür özelliklerinde farklılıklara neden olmuştur. Çalışmamızda %3 ve 5 oranında mercimek proteini izolatu içeren kek numunelerinin sertlik değerinin kontrol numunesinden yüksek olduğu görülmüştür ($p < 0,05$). Gözlemimize benzer olarak, nohut proteini izolatu [14] ve çeşitli baklagil unları [24] ilave edilen keklerde baklagil proteini veya ununun miktarı arttıkça sertlik değerinin de arttığı bildirilmiştir. Kohezyon kapasitesi gıdanın mekanik etki altında deformasyon derecesi ile ilişkilidir. Kohezyon kapasitesi ve esnekliğin, ürün formülasyonunda bulunan proteinlerin geliştirdiği elastik ağ yapıdan etkilendiği bildirilmiştir [25, 26]. Çalışmamızda mercimek proteini izolatu içeren kek numunelerinin kohezyon kapasitesi, esneklik ve çignenebilirlik değerlerinin kontrol numunesine göre düşük olduğu görülmüştür ($p < 0,05$). İzolat içeren numuneler kendi aralarında değerlendirildiğinde ise %5 oranında izolat içeren numunenin kohezyon kapasitesi, esneklik ve çignenebilirlik değerlerinin diğerlerinden yüksek olduğu görülmektedir ($p < 0,05$). Kek numunelerinin katılık değerleri de sertlik değerleri ile benzer bir eğilim göstermiş; izolat içeren kek numunelerinin sertlik değeri kontrol numunesinden yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$). Çalışmamızda kullanılan formülasyona göre kekte mercimek

proteini izolatu kullanımı daha sert ve katı; ancak esnekliği ve çiğnenebilirliği düşük bir yapı oluşturmuştur. Mercimek proteini izolatu içeren kek formülasyonlarının tekstür özellikleri açısından iyileştirmeye açık olduğu görülmektedir.

Tablo 7. Kek numunelerinin tekstür özellikleri¹.

	Sertlik (gf)	Kohezyon Kapasitesi	Esneklik (mm)	Çiğnenebilirlik (Nmm)	Katılık (kgf/mm)
Kontrol	375,92 ± 20,62 ^a	0,40 ± 0,01 ^a	4,54 ± 0,16 ^a	9,89 ± 0,48 ^a	0,06 ± 0,00 ^c
%1 Mercimek proteini izolatu içeren kek	424,58 ± 24,99 ^a	0,17 ± 0,01 ^c	2,30 ± 0,21 ^c	1,57 ± 0,15 ^c	0,19 ± 0,01 ^b
%3 Mercimek proteini izolatu içeren kek	582,16 ± 52,25 ^b	0,12 ± 0,00 ^d	2,13 ± 0,10 ^c	1,29 ± 0,11 ^c	0,19 ± 0,01 ^b
%5 Mercimek proteini izolatu içeren kek	621,11 ± 48,18 ^b	0,24 ± 0,01 ^b	2,82 ± 0,15 ^b	2,94 ± 0,21 ^b	0,40 ± 0,02 ^a

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p<0,05$).

Çalışmamızda 20 eğitimsiz panelist ile gerçekleştirilen kontrole göre farklılık testinde mercimek proteini izolatu içeren kek numuneleri kontrol numunesinden farklı bulunmuştur ($p<0,05$). Panelistler tarafından algılanan farkta izolatu içeren keklerin nem ve yağ içeriğinin (Tablo 4), renginin (Tablo 6) ve tekstür özelliklerinin (Tablo 7) kontrolden farklı olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Bu bakımdan mercimek proteini izolatu içeren bitkisel bazlı kek formülasyonlarının iyileştirmeye açık olduğu görülmektedir.

C. Mercimek Unu İçeren Bitkisel Bazlı Kraker Geliştirilmesi

Çalışmamızda yerel üreticilerden temin edilen mercimek unu kullanılarak bitkisel bazlı kraker formülasyonu geliştirilmesi amaçlanmış ve mercimek unu oranının son ürünün çeşitli kalite özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kontrol numunesi olarak buğday unu içeren ve buğday ununu belirli oranlarda ikame edecek şekilde; %20, 40 ve 50 oranında mercimek unu içeren kraker numunelerinin besin öğeleri kompozisyonu Tablo 8'de gösterilmiştir. Kontrol numunesi ile en düşük oranda (%20) mercimek unu içeren kraker numunesinin nem içerikleri benzer bulunmuştur ($p>0,05$). Mercimek proteini izolatu içeren kek numunelerinde gözlenen trende benzer olarak; kraker formülasyonunda kullanılan mercimek unu oranı arttıkça numunelerin protein oranının arttığı ve nem içeriğinin düştüğü görülmektedir ($p<0,05$). Artan protein oranı ile beraber gözlemlenen nem düşüşünün nedeni literatürde baklagil proteinlerinin üründeki bağlı suyun oranını artırmasına dayandırılmaktadır [13]. Kontrol numunesinin yağ içeriğinin %40 ve 50 oranında mercimek unu içeren numunelerin yağ içeriğinden yüksek olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Bu bulgu mercimek ununun yağ tutma kapasitesinin buğday unundan düşük olduğuna işaret etmektedir. Mercimek unu içeren kraker numunelerinin ve kontrol numunesinin kül içerikleri arasında ise belirgin farklar gözlemlenmemiştir ($p>0,05$).

Tablo 8. Kraker numunelerinin besin öğeleri kompozisyonu¹.

	Nem (g/100 g)	Protein (g/100 g)	Yağ (g/100 g)	Karbonhidrat ² (g/100 g)	Kül (g/100 g)
Kontrol	9,6 ± 0,6 ^a	7,5 ± 0,1 ^d	7,4 ± 0,1 ^a	70,6	4,9 ± 0,1 ^a
%20 Mercimek unu içeren kraker	10,6 ± 0,1 ^a	9,1 ± 0,1 ^c	7,1 ± 0,2 ^{ab}	68,0	5,2 ± 0,1 ^a
%40 Mercimek unu içeren kraker	7,0 ± 0,5 ^b	10,6 ± 0,8 ^b	6,7 ± 0,3 ^{bc}	70,6	5,1 ± 0,2 ^a
%50 Mercimek unu içeren kraker	4,1 ± 0,4 ^c	13,7 ± 0,4 ^a	6,2 ± 0,1 ^c	70,9	5,1 ± 0,1 ^a

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p<0,05$).

² Karbonhidrat içeriği farktan hesaplanmıştır.

Kraker numunelerinin renk parametreleri ve esmerleşme indeksi değerleri Tablo 9'da gösterilmiştir. Mercimek unu içeren kraker numunelerinin L^* değerinin kontrolden düşük olduğu ($p<0,05$); dolayısıyla siyaha yakınlığın arttığı görülmüştür. Kraker formülasyonunda kullanılan mercimek unu miktarı arttıkça L^* değerinin de düştüğü görülmektedir. Mercimek unu içeren numunelerde mercimek unu oranı arttıkça a^* değerinin arttığı ve b^*

değerinin düştüğü; bir diğer deyişle ürünün daha kırmızımsı ve sarımsı bir renk aldığı görülmüştür. Mercimek unu içeren tüm kraker numuneleri için kontrol numunesi ile aralarındaki renk farkı gözle ayırt edilebilecek düzeydedir ($\Delta E^* > 3$). Kraker formülasyonunda kullanılan mercimek unu oranı arttıkça bu renk farkının da arttığı görülmektedir ($p < 0,05$).

Tablo 9. Kraker numunelerinin renk parametreleri¹.

	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
Kontrol	47,31 ± 0,60 ^a	6,14 ± 0,25 ^b	16,36 ± 0,63 ^a	-
%20 Mercimek unu içeren kraker	40,25 ± 1,37 ^b	6,19 ± 0,29 ^b	14,61 ± 0,45 ^b	7,28 ^a
%40 Mercimek unu içeren kraker	39,11 ± 0,76 ^b	7,10 ± 0,05 ^a	13,73 ± 0,65 ^b	8,70 ^a
%50 Mercimek unu içeren kraker	35,68 ± 0,80 ^c	6,70 ± 0,16 ^{ab}	11,85 ± 0,42 ^c	12,49 ^b

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p < 0,05$).

Kraker numunelerinin tekstür analizi sonuçları Tablo 10'da gösterilmiştir. Çalışmamızda kullanılan kraker formülasyonunda buğday ununun belirli oranlarda mercimek unu ile ikame edilmesi ürünün tekstür özelliklerinde farklılıklara neden olmuştur. Mercimek unu içeren kraker numunelerinin sertlik ve katılık değerlerinin kontrol numunesinden düşük olduğu görülmüştür ($p < 0,05$). Gıdanın mekanik etki altında göreceği deformasyonun derecesini gösteren kohezyon kapasitesi ise kontrole göre farklı bulunmakla beraber; mercimek unu miktarına bağlı bir trend gözlemlenmemiştir. Mercimek unu içeren kraker numunelerinin esneklik değerleri kontrole göre yüksek; çiğnenebilirlik değerleri ise kontrolden düşük bulunmuştur ($p < 0,05$). Çalışmamızda kullanılan formülasyona göre krakerde mercimek unu kullanımı daha yumuşak ve esnek; fakat çiğnenebilirliği düşük bir yapı oluşturmuştur. Son olarak, eğitimsiz panelistler ile gerçekleştirilen kontrole göre farklılık testine göre, %20 ve 40 oranında mercimek unu içeren kraker numuneleri renk ve tekstür özelliklerinde tespit edilen farklılıklara rağmen, duyuşal özellikleri açısından kontrol numunesine benzer bulunmuştur ($p > 0,05$). Buğday ununun mercimek unu ile en yüksek oranda (%50) ikame edildiği numune ise panelistlerce kontrolden farklı algılanmıştır.

Tablo 10. Kraker numunelerinin tekstür özellikleri¹.

	Sertlik (gf)	Kohezyon Kapasitesi	Esneklik (mm)	Çiğnenebilirlik (Nmm)	Katılık (kgf/mm)
Kontrol	5319,3 ± 172,6 ^a	0,09 ± 0,00 ^b	0,35 ± 0,03 ^c	3,11 ± 0,16 ^a	9,53 ± 0,45 ^a
%20 Mercimek unu içeren kraker	2051,8 ± 158,4 ^c	0,13 ± 0,01 ^a	0,54 ± 0,01 ^a	1,57 ± 0,06 ^b	7,31 ± 0,42 ^b
%40 Mercimek unu içeren kraker	2473,1 ± 71,7 ^b	0,13 ± 0,01 ^a	0,49 ± 0,01 ^{ab}	1,09 ± 0,08 ^c	4,25 ± 0,29 ^c
%50 Mercimek unu içeren kraker	2133,3 ± 143,5 ^{bc}	0,06 ± 0,01 ^c	0,47 ± 0,01 ^b	0,60 ± 0,05 ^d	5,30 ± 0,14 ^d

¹ Sonuçlar üç ölçümün ortalaması ± standart sapma şeklinde rapor edilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde farklıdır ($p < 0,05$).

IV. SONUÇ

Bu çalışmada mercimek unu ve bu undan alkali ekstraksiyon/izoelektrik çöktürme metodu ile elde edilen protein izolatının iki farklı fırıncılık ürünün kalite özelliklerine etkileri incelenmiştir. Mercimek proteini izolatu kek formülasyonunda yumurta ve süt yerine kullanılmıştır. Kraker formülasyonunda ise buğday unu belirli oranlarda mercimek unu ile ikame edilmiştir. Mercimek proteini içeren kek numunelerinin renk ve tekstür özelliklerinin kontrol numunesinden farklı olduğu görülmüştür. Duyusal analiz değerlendirmelerine göre de kekte mercimek proteini izolatu kullanımı tüketici tarafından hissedilebilir bir fark yaratmıştır. Bu açıdan mercimek proteini izolatu içeren bitkisel bazlı kek formülasyonlarının iyileştirmeye ihtiyaç duyduğu görülmüştür. Öte yandan, buğday ununun %20 ve 40 oranında mercimek unu ile ikame edildiği kraker numunelerinde renk ve tekstür özellikleri kontrolden farklı olmasına karşılık numuneler duyuşal özellikler bakımından kontrole benzer bulunmuştur. Bu çalışma sonucu elde edilen bulgular, ülkemize özgü mercimek türlerinin ve bunlardan elde edilen proteince zengin bileşenlerin çeşitli fırıncılık ürünlerinde formülasyonlarda modifikasyon yapılarak bitkisel protein kaynağı olarak kullanılabilmesini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, 43, 414–431.
- [2] Türkiye İstatistik Kurumu (2018). <http://www.tuik.gov.tr>.
- [3] Roy, F., Boye, J. I., & Simpson, B. K. (2010). Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil, *Food Research International*, 43, 432–442.
- [4] Bhatti, R. S. (1984). Relationship between physical and chemical characters and cooking quality in lentil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 32, 1161–1166.
- [5] Jarpa-Parra, M., Wong, L., Wismer, W., Temelli, F., Han, J., Huang, W., Eckhart, E., Tian, Z., Shi, K., Sun, T., & Chen, L. (2017). Quality characteristics of angel food cake and muffin using lentil protein as egg/milk replacer. *International Journal of Food Science & Technology*, 52, 1604–1613.
- [6] Can Karaca, A., Low, N., & Nickerson, M. (2011). Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Research International*, 44, 2742–2750.
- [7] Joshi, M., Adhikari, B., Aldred, P., Panozzo, J. F., & Kasapis, S. (2011). Physicochemical and functional properties of lentil protein isolates prepared by different drying methods, *Food Chemistry*, 129, 1513–1522.
- [8] Millar, K. A., Barry-Ryan, C., Burke, R., Hussey, K., McCarthy, S., & Gallagher, E. (2017). Effect of pulse flours on the physicochemical characteristics and sensory acceptance of baked crackers, *International Journal of Food Science and Technology*, 52, 1155–1163.
- [9] AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis*, Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA., USA.
- [10] Paraskevopoulou, A., Donsouzi, S., Nikiforidis, C., & Kiosseoglou, V. (2015). Quality characteristics of egg-reduced pound cakes following WPI and emulsifier incorporation. *Food Research International*, 69, 72–79.
- [11] Palamutoğlu, R., Kasnak, C. & Moral B. (2018). Şeker ikamesi olarak stevya ekstraktı kullanımının keklerin bazı fiziksel ve duyuşsal özellikleri üzerine etkisi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 8, 98–108.
- [12] Ratnayake, W. S., Geera, B., & Rybak, D. A. (2012). Effects of egg and egg replacers on yellow cake product quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36, 21–29.
- [13] Lin, M., Tay, S. H., Yang, H., Yang, B. & Li, H. (2017). Development of eggless cakes suitable for lacto-vegetarians using isolated pea proteins. *Food Hydrocolloids*, 69, 440–449.
- [14] Shaabani, S., Yarmand, M. S., Kiani, H., & Emam-Djomeh, Z. (2018). The effect of chickpea protein isolate in combination with transglutaminase and xanthan on the physical and rheological characteristics of gluten free muffins and batter based on millet flour. *LWT - Food Science and Technology*, 90, 362–372.
- [15] Millar, K. A., Barry-Ryan, C., Burke, R., Hussey, K., McCarthy, S., & Gallagher, E. (2017). Effect of pulse flours on the physicochemical characteristics and sensory acceptance of baked crackers. *International Journal of Food Science and Technology*, 52, 1155–1163.
- [16] Meilgaard, M., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2007). *Sensory Evaluation Techniques*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 92–100.
- [17] El-Adawy, T. A., Rahma, E. H., El-Bedawey, A. A., & El-Beltagy, A. E. (2003). Nutritional potential and functional properties of germinated mung bean, pea and lentil seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58, 1–13.

- [18] Costa, G. E. A, Queiroz-Monici, K. S., Reis, S. M. P. & Oliveira, A. C. (2006). Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry*, 94, 327–330.
- [19] Ladjal Ettoumi, Y. & Chibane, M. (2015). Some physicochemical and functional properties of pea, chickpea and lentil whole flours. *International Food Research Journal*, 22, 987–996.
- [20] Ko, T. L., Soe Than, S., & Oo, Z. Z. (2017). Isolation of protein from defatted lentil flour. *American Journal of Food Science and Technology*, 5, 238–244.
- [21] Shevkani, K. & Singh, N. (2014). Influence of kidney bean, field pea and amaranth protein isolates on the characteristics of starch-based gluten-free muffins. *International Journal of Food Science & Technology*, 49, 2237–2244.
- [22] Baixauli, R., Salvador, A., & Fiszman, S. (2008). Textural and colour changes during storage and sensory shelf life of muffins containing resistant starch. *European Food Research and Technology*, 226, 523–530.
- [23] Hera, E., Ruiz-Paris, E., Oliete, B., & Gomez, M. (2012). Studies of the quality of cakes made with wheat-lentil composite flours. *LWT - Food Science and Technology*, 49, 48–54.
- [24] Gularte, M. A., Gomez, M., & Rosell, C. M. (2012). Impact of legume flours on quality and in vitro digestibility of starch and protein from gluten-free cakes. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 3142–3150.
- [25] Wilderjans, E., Pareyt, B., Goesaert, H., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2008). The role of gluten in a pound cake system: A model approach based on gluten–starch blends. *Food Chemistry*, 110, 909–915.
- [26] Moore, M. M., Schober, T. J., Dockery, P., & Arendt, E. K. (2004). Textural comparisons of gluten-free and wheat-based doughs, batters, and breads. *Cereal Chemistry*, 81, 567–575.

Araştırma Makalesi - Research Article

Normal Konsolide Kaolin Kilinin Drenajsız Kesme Davranışı Üzerinde Başlangıç Kayma Gerilmesinin Etkisi

Uğur Dağdeviren^{1*}, Zeki Gündüz²

Geliş / Received: 02/02/2020

Revize / Revised: 13/06/2020

Kabul / Accepted: 22/06/2020

ÖZ

Arazideki zeminlerin gerilme koşulları incelendiğinde, zeminlerin pek çok durumda anizotropik gerilme şartlarında olduğu görülmektedir. Bu zeminler, herhangi bir ilave yükleme olmasa dahi kayma gerilmesine maruz durumdadırlar. Günümüzde arazideki gerilme şartlarına bakılmaksızın, maliyet, zaman ve kolaylık gibi gerekçelerden dolayı üç eksenli basınç deneyleri izotropik gerilmeler altında ve başlangıç kayma gerilmesinin olmadığı numuneler üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, zeminlerin drenajsız koşullardaki davranışı üzerinde başlangıç kayma gerilmesi varlığının etkisi belirlenmesi gereken önemli bir konudur. Bu çalışmada, laboratuvarında bulamaç çamuru konsolidasyon yöntemi ile hazırlanmış olan normal konsolide kaolin kilinin, farklı başlangıç kayma gerilmeleri ve ortalama efektif gerilmeler altındaki drenajsız davranışı üç eksenli basınç deneyleri kullanılarak incelenmiştir. Deney sonuçları, başlangıç kayma gerilmesindeki artışın, drenajsız kayma mukavemetini ve aşırı boşluk suyu basıncı oluşumunu önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermektedir. Çalışma sonunda, izotropik koşullarda gerçekleştirilen üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen drenajsız kayma mukavemeti kullanılarak, başlangıç kayma gerilmesine maruz kil zeminlerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemeye yönelik olarak bir düzeltme faktörü önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Başlangıç Kayma Gerilmesi, Boşluk Suyu Basıncı, Drenajsız Kayma Mukavemeti, Düzeltme Faktörü, Üç Eksenli Basınç Deneyi.*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ugur.dagdeviren@dpu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-4760-6574>)

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, 43100, Kütahya

²İletişim: zekigunduz@aydin.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-5284-7532>)

İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Aydın Üniversitesi, 34295, İstanbul

Effect of Initial Shear Stress on the Undrained Shear Behavior of Normally Consolidated Kaolin Clay

ABSTRACT

When the stress conditions of the soils in the field are examined, it is seen that the soils are in the anisotropic stress conditions in many cases. These soils are subjected to shear stress even without additional loading. Today, regardless of the stress conditions in the field, triaxial compression tests are carried out on samples without initial shear stress under the isotropic stress conditions because of the cost, time and simplicity. Therefore, determining the effect of the presence of the initial shear stress on the behavior of soils under the undrained conditions is an important subject. In this study, the undrained behavior of the normally consolidated kaolin clay, which is prepared by slurry consolidation method in the laboratory, under different initial shear stresses and mean effective stresses is investigated using the triaxial compression tests. The test results show that the increase in initial shear stress can significantly affect the undrained shear strength and the generation of excess pore water pressure. At the end of the study, a correction factor is proposed that can be used to determine the undrained shear strength of clay soils subjected to initial shear stresses by using the undrained shear strength obtained from the triaxial compression tests performed in isotropic conditions.

Keywords- *Initial Shear Stress, Pore Water Pressure, Undrained Shear Strength, Correction Factor, Triaxial Compression Test.*

I. GİRİŞ

Geoteknik mühendisliği uygulamalarında, üzerinde ilave bir yükleme olmasa dahi, sükûnetteki (K_0) arazi koşullarındaki zemin elemanlarının genellikle anizotropik gerilme şartlarında olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, yapıların simetri eksenindeki noktalarda veya dolgular, şevler ve toprak dolgu barajlar gibi eğimli yüzeylerde yer alan zemin elemanlarının da serbest saha koşullarından farklı olarak anizotropik gerilme şartlarında olduğu bilinmektedir [1-4]. Bu zemin elemanları herhangi bir ilave gerilme öncesinde de kayma gerilmelerine maruz durumdadırlar. Özellikle drenajsız şartlar altında, kumlu zeminlerin tekrarlı yükler altındaki davranışları üzerinde başlangıç statik kayma gerilmesinin etkileri sıvılaşma direnci açısından oldukça önemli bir konu olup günümüzde halen birçok araştırmacı tarafından ele alınmaktadır [2, 4-6]. Bu çalışmalar, başlangıç statik kayma gerilmesi varlığının, doygun kumların dinamik özelliklerini etkileyen önemli bir faktör olduğunu ortaya koymakta ve bu etkiyi yansıtabilmek için düzeltme faktörleri (K_α) önermektedirler. Killi zeminler üzerinde başlangıç statik kayma gerilmesinin etkilerini ele alan çalışmalar ise daha sınırlı olup, bunların çoğu da tekrarlı yükler altındaki davranış üzerine yoğunlaşmıştır [3, 7-9]. Killi zeminler üzerinde başlangıç kayma gerilmesinin etkilerini ele alan deneysel bulguları zenginleştirebilmek ve davranışı doğru olarak yorumlayabilmek için bu konu hakkındaki çalışmaların da artırılması gerektiği gözlenmektedir.

Öte yandan, arazideki zeminlerin maruz kalacakları gerilmeler altındaki davranışlarını belirleyebilmek için yapılan laboratuvar deneylerinin, esasen arazideki gerilme koşullarına uygun olarak hazırlanmış örselenmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ancak, günümüzde laboratuvar üç eksenli basınç deneyleri, arazideki gerilme koşullarına bakılmaksızın izotropik gerilme koşulları altındaki numuneler üzerinde gerçekleştirilmektedir. Üç eksenli basınç deney sisteminde uygulanan izotropik gerilme şartlarının, başlangıç kayma gerilmesine maruz zeminlerin arazideki davranışlarını ne ölçüde yansıtabileceği merak konusudur. Özellikle normal konsolide killer için, izotropik şartlarda gerçekleştirilen deneylerden elde edilen drenajsız kayma mukavemetinin, genellikle anizotropik şartlardakinden daha büyük olduğuna yönelik gözlemler de [10, 11] dikkate alındığında; izotropik şartlardaki deneylerden elde edilen kayma direnci davranışının direkt olarak arazide farklı gerilme koşullarına sahip zeminler için kullanımı, gerçek kayma direnci değerlerinden daha yüksek değerlerle değerlendirme yapılmasına ve tasarımın emniyetsiz tarafta kalma riskine neden olabilecektir. Bu nedenle, killi zeminlerin davranışı üzerinde başlangıç kayma gerilmesinin etkisi irdelenmesi gereken bir konu olarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, monotonik yükleme altında killi zeminlerin drenajsız koşullardaki davranışı üzerinde başlangıç kayma gerilmesi seviyesinin etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, iki farklı ortalama efektif gerilme seviyesi için normal konsolide kaolin kili kullanılarak başlangıç kayma gerilmesinin etkisi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan numunelerin heterojenlik, gerilme geçmişi, su muhtevası, başlangıç boşluk oranı gibi parametrelerin farklılıklarını devre dışı bırakabilmek için, laboratuvar ortamında bulamaç çamuru konsolidasyon yöntemi ile numuneler hazırlanmış ve sadece başlangıç kayma gerilmesinin değişkenliği sağlanmaya çalışılmıştır. Numuneler, üç eksenli basınç deneyinde, izotropik ve başlangıç kayma gerilmesinin modellendiği deneylerde ise izotropik konsolidasyonu takiben drenajlı ön-kesme altında konsolide edilmiş ve daha sonra drenajsız kesme aşamasındaki davranışları gerilme-deformasyon, aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu ve gerilme izi açısından incelenmiştir. Sonuçlar, normal konsolide kaolin kili üzerinde başlangıç kayma gerilmesi varlığının, gerek kayma mukavemeti gerekse boşluk suyu basıncı oluşumu açısından ihmal edilemeyecek öneme sahip olabileceğini göstermiştir. Çalışma sonuçlarına dayalı olarak, monotonik yükleme için üç eksenli basınç deneylerinde izotropik gerilme koşulları altında belirlenmiş olan kayma direnci değerlerinden, başlangıç kayma gerilmesine maruz zeminlerin kayma direnci değerlerine geçiş yapmayı sağlayabilecek yeni bir düzeltme faktörü (K_s) önerilmiştir.

Çalışmanın kalan bölümleri aşağıdaki gibi düzenlenmiştir: Deneylerde kullanılan zemin özellikleri, numunelerin hazırlanma yöntemi ile deney sistemi ve deney programı Bölüm 2'de tanımlanmaktadır. Deney sonuçları Bölüm 3'de, bulguların değerlendirilmesi ve tartışılması ise Bölüm 4'de sunulmuştur. Çalışmanın son bölümünde ise elde edilen önemli sonuçlar ortaya konulmuştur.

II. MALZEME VE YÖNTEM

A. Zemin Özellikleri ve Numune Hazırlama Yöntemi

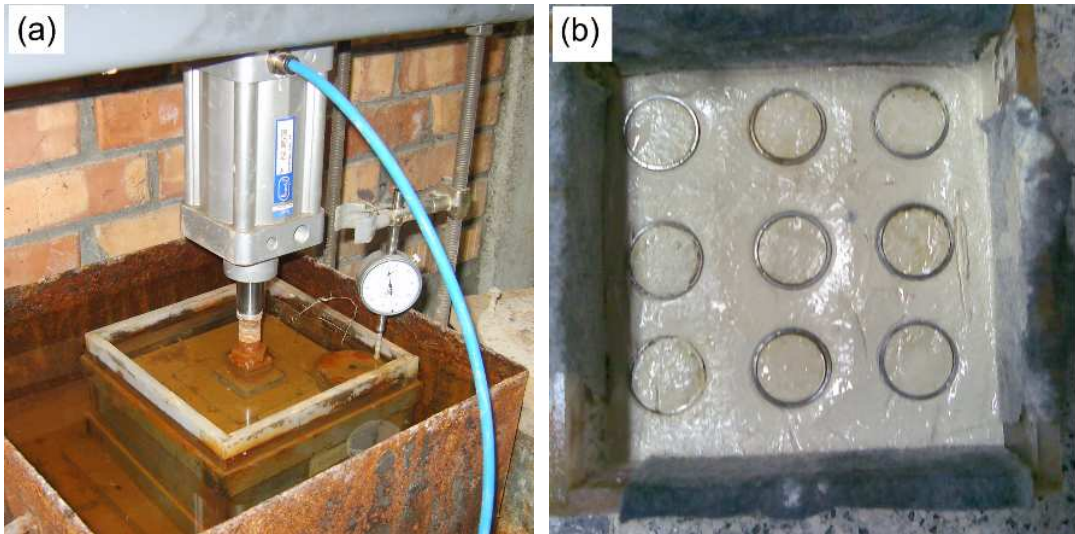
Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde, arazideki doğal zeminlerin yapı, heterojenlik, gerilme geçmişi, su muhtevası, boşluk oranı farklılıkları gibi zemin davranışı üzerinde önemli etkiye sahip olan parametrelerin etkisini devre dışı bırakabilmek için, numunelerinin laboratuvarında hazırlanması tercih edilmiştir. Bu amaçla, deneylerde önemli kil türlerinden birisi olan ve geoteknik özellikleri Tablo 1’de verilen kaolin kili kullanılmıştır.

Kullanılan numunelerin homojen ve yüksek doygunlukta olması, ve başlangıç boşluk oranlarının dar bir aralıkta kalması hedeflendiğinden, numuneler bulamaç çamuru konsolidasyon yöntemi ile hazırlanmıştır [12-16]. Bu yöntemde, etüv kurusu haline getirilmiş olan kaolin kilinin bulamaç hale gelmesi için, likit limitin üzerinde bir su muhtevasında ($w_n = \% 65$) karıştırıldıktan sonra, nemin dengelenmesi için sıcaklığı 20 ± 3 °C, bağıl nemi ise $\%95$ olan nem odasında en az bir gün boyunca bekletilmiştir. Hazırlanan bulamaç, aralarda boşluk kalmaması için hafif bir titreşim uygulanarak, alt ve üst yüzeyleri drenaja açık olan 20 cm kenar uzunluklu küp şeklindeki büyük konsolidasyon tankına yerleştirilmiştir. Numune tankının üst başlığından pnomatik silindir ile eksenal yüklemle uygulanarak numunenin önkonsolidasyonu sağlanmıştır (Şekil 1.a). Deney sisteminde kullanılan ekipmanların kapasiteleri itibarıyla emniyetli olarak uygulanabilecek en büyük gerilme seviyesine (62.5 kPa), taşıma gücü probleminin oluşmaması için 15, 30, 45 ve 62.5 kPa olmak üzere 4 yüklem kademesinde erişilmiştir. Her yüklem kademesinde oturmaların tamamlanabilmesi için 1 hafta beklenmiştir. Bir aylık önkonsolidasyon sürecinin ardından, ince cidarlı numune alıcıların hidrolik pistonla konsolidasyon tankı içerisindeki zemine itilmesi ile (Şekil 1.b) üç eksenli basınç deneylerinde kullanılacak olan 35.7 mm çapında ve 80 mm yüksekliğinde silindirik zemin numuneleri elde edilmiştir. Bu yöntem ile elde edilen numunelerin başlangıç boşluk oranlarının, $e_0 = 1.25 \pm 0.02$, doğal birim hacim ağırlıklarının, $\gamma_n = 16.61 \pm 0.11$ kN/m³ ve sıvılık indislerinin, $I_L = 0.75 \pm 0.03$ gibi çok dar bir aralık içerisinde kaldığı gözlenmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan kaolin kilinin indeks özellikleri

Likit limit, LL (%)	Plastik limit, PL (%)	Plastisite indisi, PI (%)	Özgül gravite, G_s	Kum yüzdesi (%)	Silt yüzdesi (%)	Kil yüzdesi (%)	USCS sınıfı*
51	34	17	2.59	0	49	51	MH

* USCS: Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi



Şekil 1. Numune hazırlama sistemi, a) Yüklem düzeneği, b) Numune alımı

B. Deneysel Prosedürü ve Deneysel Programı

Çalışmada tam otomatik üç eksenli deney sistemi kullanılmıştır. Deney numunelerinin konsolidasyonun hızlandırılması ve boşluk suyu basıncının homojen dağılımının sağlanabilmesi için numunelerin etrafı filtre kağıdı ile sarılmıştır. Numunelerin doyurma aşaması; 16 kademede 30 kPa'lık basınç artışları ile 490 kPa'lık bir geri basınca erişilerek tamamlanmış ve boşluk suyu basıncı parametresi (B) değerinin en az 0.95 olması sağlanmıştır. Doyurma işleminden sonra, başlangıç kayma gerilmesi seviyesinden bağımsız olarak deneylerde kullanılan tüm numunelerde öncelikle hedeflenen izotropik efektif konsolidasyon gerilme seviyesine ulaşılarak 24 saatten az olmamak üzere numunelerin birincil konsolidasyonunu tamamlamasına izin verilmiş ve bu aşamada hacim değişimleri ölçülmüştür. Başlangıç kayma gerilmesi varlığının modellenmek istendiği numunelerde ise, izotropik gerilme koşulları altındaki konsolidasyonun akabinde, hücre basıncı sabit tutularak, düşey deviyör gerilme, yükleme hızına yönelik olarak bir standart bulunmadığı için literatürdeki uygulamalarla uyumlu olacak şekilde, 1 kPa/min yükleme hızıyla artırılmış ve numuneye drenajlı şartlarda ön bir kesme işlemi uygulanmıştır [1, 17-18]. Hedeflenen başlangıç kayma gerilmesinin sağlanmasının ardından, 24 saatlik ikinci bir konsolidasyon süreci uygulanmış ve zemin numunelerinin anizotropik gerilme koşullarına gelmesi sağlanmıştır.

İzotropik ve/veya anizotropik konsolidasyon aşamaları tamamlandıktan sonra, drenajsız üç eksenli basınç deneyleri (CIU/CAU) birim deformasyon kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Drenajsız kesme sırasında boşluk suyu basıncının numune boyunca homojen dağılımını sağlayabilmek için birim şekil değiştirme hızı, ASTM D-4767'de tanımlanan en büyük yükleme hızını aşmayacak şekilde, 0.014 %/min olarak seçilmiştir [19-23]. Kesme aşamasında, yük hücresi okuması, ekstenel deformasyon ve aşırı boşluk suyu basıncı değerleri bilgisayar kontrollü olarak kaydedilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde zemin numunelerinin gerilme-birim deformasyon grafiklerinde net olarak pik noktaları gözlemlendiğinden dolayı, yenilme anı, deviyör gerilmenin maksimum değere ulaştığı birim deformasyon seviyesi olarak tanımlanmıştır [23].

Killi zeminlerin drenajsız yükleme koşulları altındaki davranışının; zeminin plastisitesi, gerilme geçmişi, doygunluk derecesi, başlangıç su muhtevası, başlangıç boşluk oranı ve yükleme hızı gibi birçok faktörden etkilendiği bilinmektedir. Bu nedenle, çalışmada sadece başlangıç kayma gerilmesi seviyesinin zemin davranışı üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için, diğer tüm parametrelerin sabit tutulduğu bir deneysel programının oluşturulması hedeflenmiştir. Bu aşamada, drenajsız kesme öncesi başka bir deyişle izotropik/anizotropik konsolidasyon sonrası boşluk oranının (e_c) sabitliğinin sağlanması, konsolidasyon sırasında numunede oluşacak hacim ve boşluk oranı değişimini önceden kestirebilmek mümkün olmadığından diğer parametrelere nazaran daha zordur. Bu çalışmada, farklı gerilme izlerine sahip olarak hazırlanacak olan numunelerin konsolidasyon sonrası boşluk oranını (e_c) birbirlerine mümkün olduğunca yakın tutabilmek için sabit ortalama efektif gerilmeye, $p' = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ sahip numunelerin oluşturulmasını esas alan sistematik bir deneysel programı ele alınmıştır. Bu deneysel programının ilk grubundaki numuneler (Grup I), izotropik olarak konsolide edilmiş ve drenajsız kesme öncesinde başlangıç kayma gerilmesinin oluşmadığı ($\tau_s = 0$) numunelerdir. Tablo 2'de görüleceği üzere, bu numuneler 100, 200 ve 400 kPa'lık izotropik efektif çevre gerilmeleri altında konsolide edilmişlerdir. İkinci gruptaki deneysel numuneleri (Grup II) ise, öncelikle izotropik çevre gerilmesi altında konsolide edilmiş, daha sonra istenilen başlangıç kayma gerilmesine ulaşmak üzere drenajlı şartlarda ekstenel deviyör gerilmeye maruz bırakılmışlardır [2, 5, 7, 24-26]. Bu gruptaki deneyler, Tablo 2'de özetlendiği üzere, ortalama efektif gerilmenin $p' = 200$ kPa (Grup II-a) ve $p' = 400$ kPa (Grup II-b) olduğu yedi adet numuneden oluşmaktadır. Bu deneyler için başlangıç kayma gerilmesi oranları, $\tau_s/p' = 0.15, 0.30, 0.45$ ve 0.60 olarak seçilmiştir. Sabit ortalama efektif gerilmeli (p') ve hedeflenen başlangıç kayma gerilmesine sahip zemin numunelerini elde edebilmek için uygulanması gereken efektif çevre gerilmesi (σ_{3c}') ve düşey efektif gerilme (σ_{1c}') değerleri, zeminlerin davranışında etkin olduğu bilinen ortanca efektif asal gerilme etkisinin de gerilme izinde dikkate alındığı Cambridge gerilme izi ifadelerine dayalı olarak Denklem 1 ve 2'deki gibi formüle edilebilir.

$$\sigma_{3c}' = p' - \frac{2}{3} \tau_s \quad (1)$$

$$\sigma_{1c}' = p' + \frac{4}{3} \tau_s \quad (2)$$

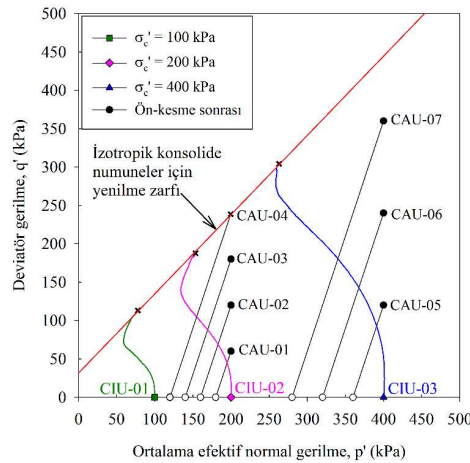
Tablo 2. Uygulanan deney programı

Deney Grup No.	Numune No.	σ_{3c}' (kPa)	σ_{1c}' (kPa)	p' (kPa)	τ_s (kPa)	τ_s/p'	e_c
Grup I	CIU-01	100	100	100	0	0	1.09
	CIU-02	200	200	200	0	0	1.06
	CIU-03	400	400	400	0	0	1.01
Grup II-a	CAU-01	180	240	200	30	0.15	1.06
	CAU-02	160	280	200	60	0.30	1.05
	CAU-03	140	320	200	90	0.45	1.08
	CAU-04	120	360	200	120	0.60	1.05
Grup II-b	CAU-05	360	480	400	60	0.15	0.99
	CAU-06	320	560	400	120	0.30	0.98
	CAU-07	280	640	400	180	0.45	0.97

III. DENEY SONUÇLARI

Çalışmada uygulanan deney programı için, her iki gruptaki deney numunelerinin drenajsız kesme öncesi izotropik ve anizotropik konsolidasyon sırasındaki gerilme izleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Tablo 2'den bu numunelerin, izotropik veya anizotropik konsolidasyon sonundaki boşluk oranları incelendiğinde, $p' = 200$ kPa'lık gerilme altındaki numunelerin boşluk oranlarının, $e_c = 1.05\sim 1.08$ aralığında; $p' = 400$ kPa olan numuneler için ise, $e_c = 0.97\sim 1.01$ gibi oldukça dar bir aralık içerisinde kaldığı gözlenmiştir. Bu nedenle, yapılan değerlendirmelerde, aynı ortalama efektif gerilmeye maruz numunelerin arasındaki tek farklılığın, drenajsız kesme aşaması öncesindeki başlangıç kayma gerilmesi seviyeleri olduğu rahatlıkla söylenebilecektir.

100, 200 ve 400 kPa'lık efektif çevre gerilmeleri altında izotropik olarak konsolide edilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen konsolidasyonlu drenajsız üç eksenli basınç deneyleri (CIU) için gerilme izleri ve yenilme zarfı Şekil 2'de gösterilmektedir. Normal konsolide edilen Grup I'deki (CIU) numunelerin gerilme izleri incelendiğinde, drenajsız kesme sırasında numunelerin sıkışma eğilimi göstermesi sonucunda boşluk suyu basınçlarında artış gerçekleştiği görülmektedir. Drenajlı şartlarda ön-kesmeye maruz bırakılan numunelerin ise gerilme izi eğiminin 3/1 oranında artarak hedeflenen gerilme durumlarına ulaştıkları gözlenmektedir. Ayrıca, Tablo 2'de verilen deney programındaki CAU-04 no.lu numunenin drenajlı koşullar altında başlangıç kayma gerilmesine maruz bırakılması aşamasında, gerilme izinin 3/1 eğimle ilerlemesi sonucunda hedeflenen gerilme seviyesine ulaşmadan yenilme zarfına ulaştığı için bu numunede yenilme gerçekleşmiş ve deney sonlandırılmıştır. Bu nedenle, drenajsız kesme aşamasındaki zemin numunelerinin davranışlarının ele alındığı aşağıdaki değerlendirmelerde bu numuneye ait bir değerlendirme yapılamayacaktır.

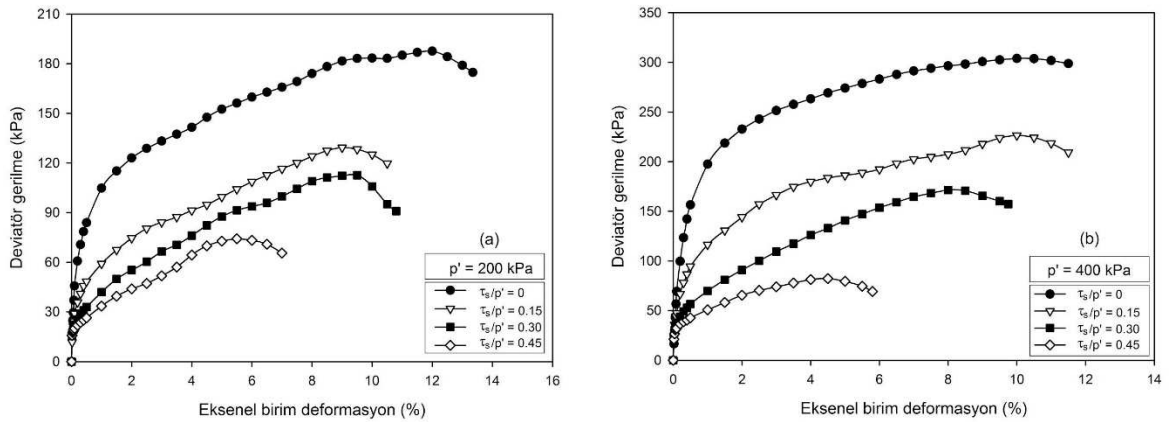


Şekil 2. İzotropik ve kesme öncesi anizotropik yüklenen numuneler için gerilme izleri

Başlangıç kayma gerilmesi seviyesinin etkisini ortaya koymak için hazırlanan Grup II-a ($p' = 200$ kPa) ve Grup II-b ($p' = 400$ kPa)'deki numuneler için drenajsız kesme aşamasındaki deviyör gerilme ve aşırı boşluk suyu basıncının eksenel birim deformasyonla değişimleri ve gerilme izleri aşağıdaki alt bölümlerde ayrı ayrı ele alınmıştır. Numunelerin yenilme sonrası davranışını gözlemleyebilmek için, gerilme birim deformasyon eğrisinde pik noktaya eriştikten sonra bir süre daha yüklemeye devam edilmiştir.

A. Gerilme - Eksenel Birim Deformasyon Davranışı

Şekil 3'de ortalama efektif gerilmesi $p' = 200$ ve 400 kPa olan numunelerin deviyör gerilme – birim deformasyon grafikleri verilmiştir. Gerek izotropik gerekse anizotropik olarak konsolide edilen numuneler, pik deviyör gerilme değerine ulaştıktan sonra birim deformasyon yumuşaması davranışı göstermektedir. Şekil 3.a'da başlangıç kayma gerilmesinin olmadığı durum için ($\tau_s/p' = 0$) yenilme 188 kPa'lık bir deviyör gerilmede gerçekleşmişken, aynı ortalama efektif gerilme seviyesi için τ_s/p' değerinin 0.15 , 0.30 ve 0.45 olduğu numunelerde maksimum deviyör gerilmenin ($\sigma_{d,max}$) sırasıyla yaklaşık 130 kPa, 113 kPa ve 74 kPa olduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde, Şekil 3.b'de $p' = 400$ kPa olan numuneler içindeki maksimum deviyör gerilme değerleri başlangıç kayma gerilmesinin artışı ile 304 kPa'dan sırasıyla 227 kPa, 172 kPa ve 83 kPa seviyelerine kadar düşmektedir. Başlangıç kayma gerilmesinin artışıyla, maksimum deviyör gerilmede gözlemlenen bu azalmalar $\tau_s/p' = 0.15$ olan numunelerde %25-31 aralığında, $\tau_s/p' = 0.30$ olan numunelerde %40-43 aralığında, $\tau_s/p' = 0.45$ olan numunelerde ise %60-73 aralığındadır. Bu değerler göz önüne alındığında, başlangıç kayma gerilmesi varlığının zeminlerin kayma direnci üzerinde ihmal edilemeyecek kadar önemli olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 3'deki başlangıç kayma gerilmesi oranları ve ortalama efektif gerilme koşullarındaki tüm numuneler için yenilme anındaki maksimum deviyör gerilmenin yarısı ($\sigma_{d,max}/2$) olarak tanımlanan drenajsız kayma mukavemeti (s_u) değerleri Tablo 3'de özetlenmiştir.



Şekil 3. a) $p' = 200$ kPa, b) $p' = 400$ kPa için drenajsız kesme aşamasında deviyör gerilme – birim deformasyon davranışı

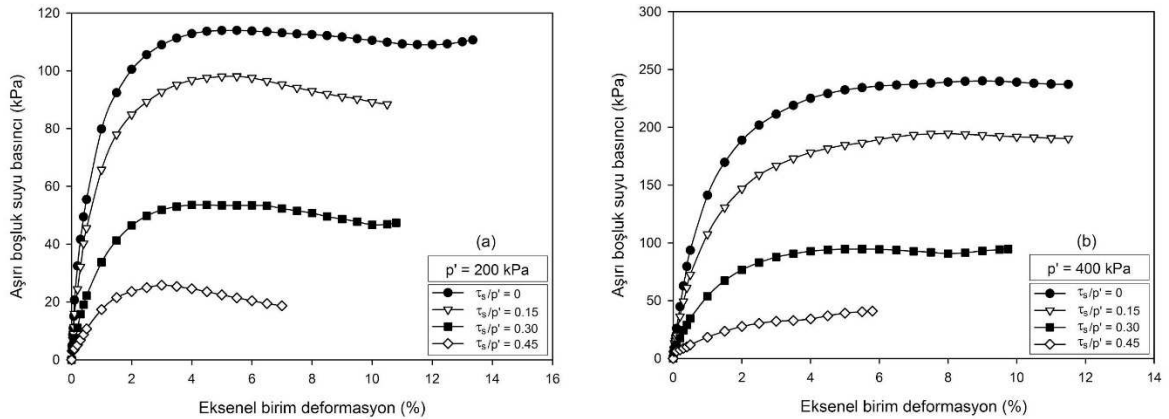
Tablo 3. Drenajsız kayma mukavemetleri ve yenilme anındaki aşırı boşluk suyu basınçları

Numune No.	p' (kPa)	τ_s (kPa)	τ_s / p'	s_u ($\sigma_{d,max}/2$) (kPa)	Δu_f (kPa)
CIU-02	200	0	0	93.9	109.0
CAU-01	200	30	0.15	64.8	91.1
CAU-02	200	60	0.30	56.6	48.2
CAU-03	200	90	0.45	37.2	21.4
CAU-04	200	120	0.60	-	-
CIU-03	400	0	0	152.0	238.3
CAU-05	400	60	0.15	113.4	191.8
CAU-06	400	120	0.30	86.1	91.0
CAU-07	400	180	0.45	41.3	35.8

Şekil 3’de verilen numunelerin deviatör gerilme birim deformasyon grafikleri incelendiğinde gözlenen bir diğer nokta ise, başlangıç kayma gerilmesi oranlarının artışı ile zemin numunelerinin daha düşük deformasyon seviyelerinde yeniliyor olmasıdır. Örneğin, Şekil 3.a’da başlangıç kayma gerilmesinin olmadığı durum için ($\tau_s/p' = 0$) yenilme yaklaşık %12 eksenel birim deformasyon seviyesinde gerçekleşmişken, $\tau_s/p' = 0.45$ olan numunenin yenilme anındaki eksenel birim deformasyonu %5.5 olarak gözlenmiştir. Şekil 3.b’deki $p' = 400$ kPa olan numunelerin yenilme anındaki birim deformasyonları ise $\tau_s/p' = 0$ ’dan 0.45 ’e kadar olan numunelerde sırasıyla, %10.4, 10.0, 8.2 ve 4.3 olarak belirlenmiştir. Bu durum, başlangıç kayma gerilmesine maruz olan zeminlerde yenilmelerin daha hızlı ve düşük deformasyon seviyelerinde gerçekleşeceğini göstermektedir.

B. Aşırı Boşluk Suyu Basıncı Davranışı

Çalışmada gerçekleştirilen deneylerde, zemin numunelerinde drenajsız kesme sırasında oluşan aşırı boşluk suyu basıncının birim deformasyonla değişimi Şekil 4’de sunulmuş, Tablo 3’de ise yenilme anındaki aşırı boşluk suyu basıncı değerleri ayrıca özetlenmiştir. Tüm gerilme koşullarındaki numuneler için, boşluk suyu basıncının en büyük değerine ulaşmasının ardından önemli bir değişime uğramadığı gözlenmiştir. Bu durum, bulamaç çamuru konsolidasyon yöntemi ile hazırlanan numunelerin normal konsolide özellikte olduğunu doğrular niteliktedir. Şekil 4.a’da başlangıç kayma gerilmesinin olmadığı durumda ($\tau_s/p' = 0$), yenilme anındaki aşırı boşluk suyu basıncı 109.0 kPa iken, $\tau_s/p' = 0.15, 0.30$ ve 0.45 gerilme koşulları için yenilme anındaki boşluk suyu basınçlarının (Δu_f), sırasıyla 91.1, 48.2 ve 21.4 kPa seviyelerine düştüğü görülmektedir. Benzer şekilde, $p' = 400$ kPa’lık gerilme altındaki numuneler için de izotropik gerilme şartları altındaki numune için $\Delta u_f = 238.3$ kPa iken, başlangıç kayma gerilmesi seviyelerindeki artış ile bu değerlerin sırasıyla 191.8, 91.0 ve 35.8 kPa seviyelerine düştüğü görülmektedir. Bu durum, yapı yükleri altında konsolidasyonunu tamamlamış olan normal konsolide killerde, ilave yükler sonrasında oluşacak olan boşluk suyu basıncı artışının sınırlı kalacağı bilgisini vermektedir. Benzer değerlendirmeler, başlangıç kayma gerilmesine maruz kumlu ve killi zeminlerin tekrarlı yükler altındaki boşluk suyu basıncı oluşumu için de birçok araştırmacı tarafından gözlenmiştir [9, 11].

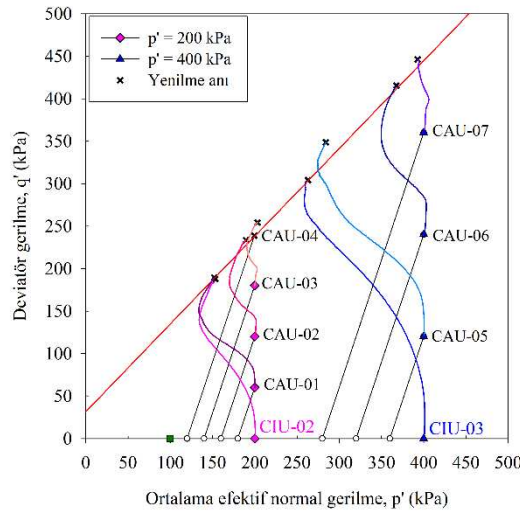


Şekil 4. a) $p' = 200$ kPa, b) $p' = 400$ kPa için aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu

C. Gerilme İzleri ve Yenilme Zarfı

Ortalama efektif gerilmesi, $p' = 200$ ve 400 kPa olan ve başlangıç kayma gerilmesine maruz bırakılmış olan numunelerin gerilme izleri Şekil 5’de verilmiştir. Numunelerin drenajlı şartlarda ön-kesmeye maruz bırakıldığı bölümde, gerilme izi $3/1$ ’lik eğimle artarak hedeflenen başlangıç gerilme durumuna ulaşmaktadır. Bu noktadan sonra numuneler, drenajsız kesmeye maruz bırakıldıklarında, başlangıç kayma gerilmesi oranı, $\tau_s/p' = 0$ ve 0.15 olan numunelerin birbirlerine oldukça yakın noktalarda yenilme zarfına ulaştıkları görülmektedir. Buna karşın, başlangıç kayma gerilmesi oranının, 0.30 ve 0.45 olduğu deneylerde ise boşluk suyu basıncındaki artışın sınırlı oluşu ve yenilme anındaki deviatör gerilme seviyesi nedeniyle izotropik durumdaki numunelere kıyasla daha üst noktalarda yenilme zarfına ulaşmakta ve yenilme daha hızlı gerçekleşmektedir. $p' = 200$ kPa’lık ortalama efektif gerilme ve başlangıç kayma gerilmesi oranı, $\tau_s/p' = 0.60$ olan CAU-04 no.lu deney numunesinde ise henüz

drenajlı ön-kesme aşamasındayken aşırı deformasyon sonucunda yenilme gerçekleşmiştir. Bu numunenin gerilme izi incelendiğinde, aşırı deformasyonlar sonucunda yenilmenin gerçekleştiği anda, gerilme izinin de yenilme zarfına ulaştığı tespit edilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde, genel bir eğilim olarak, izotropik numune sonuçlarından elde edilen yenilme zarfının başlangıç kayma gerilmesine maruz zeminlerin de yenilme davranışını temsil eder nitelikte olduğu söylenebilecektir. Bu durum, yenilme zarfı tanımının başlangıç kayma gerilmesinden etkilenmediğini ortaya koymaktadır. Benzer davranış Hyodo vd. [7] ve Nishie vd. [27] tarafından da gözlenmiş olup, araştırmacılar anizotropik ve izotropik olarak konsolide edilen killerin kritik durum çizgilerinin aynı olduğunu vurgulamıştır. Nishie vd. [27] bu davranışı, kritik durum çizgisinin gerilme kaynaklı anizotropiden etkilenmediği ve kilin doğal özelliği olduğu şeklinde yorumlamışlardır.



Şekil 5. $p' = 200$ ve 400 kPa olan numuneler için gerilme izleri

IV. DENEY BULGULARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deney sonuçlarından, başlangıç kayma gerilmesinin varlığının, normal konsolide kaolin kilinin yenilme anındaki maksimum deviyatör gerilme ($\sigma_{d,max}$) değerinde önemli ölçüde azalmalara neden olabileceği Şekil 3'den anlaşılmaktadır. Bu azalım etkinin ölçüsünü daha net bir şekilde ortaya koyabilmek için, bu çalışmadan elde edilen sonuçlara ilave olarak Hyodo vd. [7] ve Yasuhara vd. [24]'nin bulgularının da eklendiği Şekil 6 oluşturulmuştur. Şekil 6'da x eksenine, başlangıç kayma gerilmesinin (τ_s), izotropik olarak konsolide edilen numunelerin drenajsız kesme sırasındaki kayma mukavemeti ($s_{u,izo}$) ile normalize edilmiş değerleri ($\tau_s/s_{u,izo}$) şeklinde düzenlenmiştir. Bu ifade, anizotropik gerilme koşullarındaki numunelerin maruz durumda oldukları başlangıç kayma gerilmelerinin, izotropik gerilme koşullarındaki drenajsız kayma mukavemetine kıyasla seviyesini göstermektedir. Ancak, başlangıç kayma gerilmesinin uygulanması sırasında drenaja izin verildiği için ($\tau_s/s_{u,izo}$) ifadesi 1'den daha büyük değerler alabilecektir. Örneğin, bu çalışmada, 400 kPa'lık izotropik çevre gerilmesi altında konsolide edilen CIU-03 numunesinin drenajsız kayma mukavemeti, $s_u = \sigma_{d,max}/2 = 152$ kPa iken, aynı ortalama efektif gerilme altındaki CAU-07 numunesine drenajlı şartlarda yenilme olmaksızın 180 kPa'lık başlangıç kayma gerilmesi uygulanabilmektedir. Şekil 6'daki grafiğin y eksenine ise, başlangıç kayma gerilmesine maruz numunelerin drenajsız kesme sırasındaki kayma mukavemetlerinin ($s_{u,anizo}$), aynı gerilme seviyesindeki izotropik olarak konsolide edilen numunenin kayma mukavemetine ($s_{u,izo}$) oranı olarak verilmiştir. Böylece, başlangıç kayma gerilmesinin zemin numunelerinin drenajsız koşullardaki kayma mukavemetine olan etkisi genelleştirilmeye çalışılacaktır.

Şekil 6'da kullanılan veriler, Hyodo vd. [7] ve Yasuhara vd. [24]'nin çalışmalarındaki verilerle birlikte plastisite indisleri, $PI = 17 - 73$ aralığında, ortalama efektif gerilme değerleri ise $p' = 200$ ve 400 kPa olan deney sonuçlarını içermektedir. Şekil 6 incelendiğinde, bu çalışmadan elde edilen bulgular ile literatürdeki çalışma

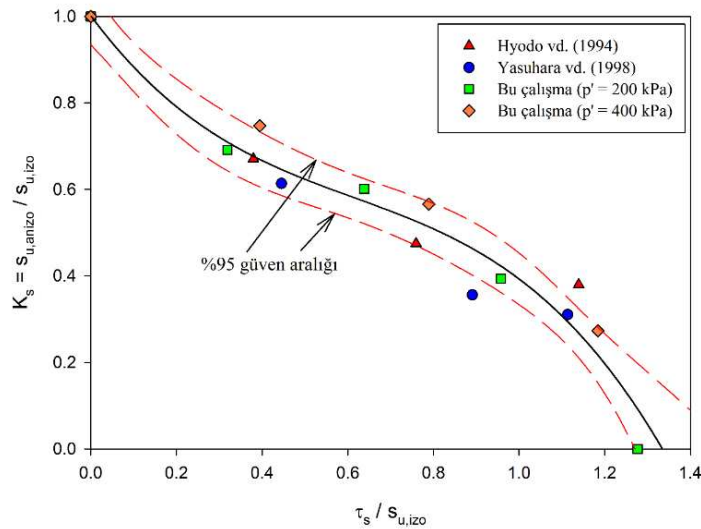
sonuçlarının [7, 24] uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Numunelerin plastisite indisleri ve ortalama efektif gerilmelerinin geniş bir aralıkta olmasına rağmen, verilerin bir bant içerisinde kaldığı görülmektedir. Bu grafik üzerinde, verileri temsil edecek şekilde önerilen regresyon denklemi siyah düz çizgi ile gösterilmiştir. Önerilen regresyon denklemi için %95 güven aralığı çizildiğinde, verilerin oldukça önemli bir bölümünün bu bant içerisine düştüğü görülmektedir. Bu aşamada oluşturulacak bir regresyon denklemi için henüz drenajlı ön-kesme aşamasında iken yenilmenin gerçekleştiği CAU-04 deney numunesinin önemli bir bilgi içerdiği anlaşılmaktadır. Bu numunede, anizotropik konsolidasyon sonrasında bir drenajsız kesme aşaması uygulanmadığından, bu numunenin drenajsız kayma mukavemeti $s_{u,anizo} = 0$ olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle, hangi gerilme koşulları altında olursa olsun, başlangıç kayma gerilmesinin belli bir değeri için $s_{u,anizo}/s_{u,izo}$ değerinin 0 olacağı bir durum mutlaka gerçekleşecektir ve eğri belirli bir değerde x eksenini kesecektir.

Şekil 6'dan görüleceği üzere, başlangıç kayma gerilmesi arttıkça, normalize edilmiş drenajsız kayma mukavemeti ($s_{u,anizo}/s_{u,izo}$) oldukça hızlı bir düşüş eğilimi göstermektedir. Bu gözlem, izotropik olarak konsolide edilen numunelerden elde edilen drenajsız kayma mukavemetinin, başlangıç kayma gerilmesinin var olduğu arazi koşullarındaki zeminler için kullanımının doğru olmayacağını göstermektedir. Bu problemi ortadan kaldırabilmek için Seed [28]'in başlangıç statik kayma gerilmesinin kumların sıvılaşma direnci üzerindeki etkisini yansıtmak için önerdiği K_α düzeltme faktörüne benzer formda bir düzeltme faktörünün tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, izotropik olarak konsolide edilmiş ($\sigma_{3c}' = p'$) numunelerin drenajsız kayma mukavemeti ($s_{u,izo}$) değerlerinden, aynı ortalama efektif gerilmeli ve başlangıç kayma gerilmesine maruz zemin elemanlarının drenajsız kayma mukavemetleri ($s_{u,anizo}$) Denklem 3'de önerilen ifade ile tahmin edilebilecektir.

$$s_{u,anizo} = K_s \cdot s_{u,izo} \quad (3)$$

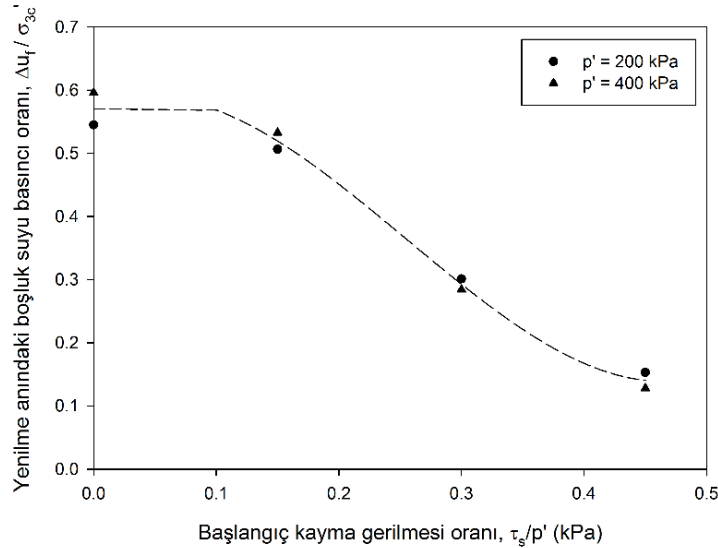
Burada, K_s monotonik yükleme koşulları için başlangıç kayma gerilmesi düzeltme faktörü olup, Şekil 6'daki sınırlı sayıda verilerle dayalı olarak gerçekleştirilen regresyon analizinden elde edilerek, Denklem 4'de tanımlanmıştır. Ancak, bu çalışma kapsamında kullanılan verilerin sayısı itibarıyla, bu ifadenin genel bir davranış tespiti olarak değerlendirilmesi daha uygun olacaktır. Benzer nitelikteki çalışmaların artırılması ve veri sayısındaki artış ile önerilen bu düzeltme faktörünün istatistiksel olarak daha anlamlı bir regresyon denklemi haline dönüştürülebilmesi mümkün gözükmemektedir.

$$K_s = -0.8617 \left(\frac{\tau_s}{s_{u,izo}} \right)^3 + 1.5877 \left(\frac{\tau_s}{s_{u,izo}} \right)^2 - 1.3348 \left(\frac{\tau_s}{s_{u,izo}} \right) + 1.00 \quad (4)$$



Şekil 6. Başlangıç kayma gerilmesi varlığının drenajsız kayma mukavemetine etkisi

Kesme aşamasında aşırı boşluk suyu basıncı oluşum davranışını değerlendirmek için, yenilme anındaki boşluk suyu basıncı değerleri, konsolidasyon sonrası efektif çevre gerilmeleri (σ_{3c}) ile normalize edilerek, boşluk suyu basıncı üzerindeki çevre gerilmesi etkisi devre dışı bırakılmaya çalışılmıştır. Şekil 4'deki deney bulgularına göre, yenilme anındaki normalize edilmiş aşırı boşluk suyu basıncının ($\Delta u_f/\sigma_{3c}$), başlangıç kayma gerilmesi oranı ile değişimi Şekil 7'de sunulmuştur. Başlangıç kayma gerilmesi oranının yaklaşık olarak 0.10'dan küçük olduğu durumlarda, başlangıç kayma gerilmesinin kaolin kilinin boşluk suyu basıncı davranışını çok fazla etkilemediği görülmektedir. Bu gözlem, düşük kayma gerilmesi seviyelerindeki numunelerin gerilme izlerinin, izotropik durumdaki numunelerinkine benzer oluş nedenini de açıklamaktadır. Başlangıç kayma gerilmesi oranının artmasıyla beraber, normalize edilmiş boşluk suyu basıncında önemli azalmalar meydana gelmektedir. Her iki ortalama efektif gerilme seviyesi için de, normalize edilmiş boşluk suyu basıncının birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, kesme aşamasında oluşacak olan normalize edilmiş boşluk suyu basıncının, ortalama efektif normal gerilmeden ziyade başlangıç kayma gerilmesinin büyüklüğünden daha çok etkilenebileceği algısını oluşturmaktadır. Yine, konuyla ilgili verilerin artması ile beraber bu davranışı daha net olarak ortaya koyulabilecek ve aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu üzerinde başlangıç kayma gerilmelerinin etkisini yansıtmak üzere regresyon denklemleri ilerleyen çalışmalarda önerilebilecektir.



Şekil 7. Başlangıç kayma gerilmesi oranının normalize edilmiş boşluk suyu basıncına etkisi

V. SONUÇLAR

Gerçek arazi koşullarındaki zemin tabakalarının genellikle başlangıç kayma gerilmesine maruz olmasına rağmen, maliyet, zaman ve kolaylık gibi faktörler, laboratuvarlarda üç eksenli basınç deneylerinin izotropik gerilme şartlarında yapılmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada oluşturulan sistematik bir deney programından elde edilen deneysel bulgulara dayalı olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Aynı ortalama efektif gerilme seviyesindeki zeminler için, başlangıç kayma gerilmesindeki artış, kaolin kilinin maksimum deviyör gerilme değerinde önemli miktarlarda azalışa neden olabilmektedir. Maksimum deviyör gerilmede gözlemlenen bu azalışlar, $\tau_s/p' = 0.15$ olan numunelerde %25-31, $\tau_s/p' = 0.30$ olan numunelerde %40-43, $\tau_s/p' = 0.45$ olan numunelerde ise %60-73 aralığına kadar ulaşabilmektedir. Bu durum, izotropik olarak konsolide edilen numunelerden elde edilen kayma dayanımının, arazideki başlangıç kayma gerilmesine maruz killerin gerilme şartlarını değerlendirmede emniyetsiz tarafta kalınacağı anlamına gelmektedir. İzotropik konsolidasyon sonrasında elde edilen drenajsız kayma mukavemetinin, anizotropik numuneler için kullanımını sağlayabilmek için başlangıç kayma gerilmesinin fonksiyonu olan bir düzeltme faktörü (K_s) önerilmiştir.

• Başlangıç kayma gerilmesi oranının (τ_s/p') yaklaşık olarak 0.10'dan küçük olduğu durumlarda, boşluk suyu basıncı oluşumunun başlangıç kayma gerilmesinden önemli miktarda etkilenmediği, ancak bu oranının artmasıyla beraber yenilme anındaki normalize edilmiş aşırı boşluk suyu basıncının ($\Delta u_f/\sigma_c'$) yaklaşık %75 civarına kadar azalabileceği tespit edilmiştir.

• İzotropik gerilme şartlarındaki deney sonuçlarına dayalı olarak elde edilen yenilme zarfının, başlangıç kayma gerilmesine maruz numuneler için de geçerli olduğu gözlenmiştir. Bu gözlem, yenilme zarfının anizotropiden / başlangıç kayma gerilmesi seviyesinden etkilenmediğini göstermektedir. Ayrıca, başlangıç kayma gerilmesinin artmasıyla beraber, maksimum deviator gerilme ve aşırı boşluk suyu basıncındaki azalıştan dolayı, numunelerin yenilme zarfına çok daha hızlı ulaştıkları belirlenmiştir.

• Konsolidasyon sonrasındaki boşluk oranını sabit tutabilmek için hazırlanan deney programı seçimi sonunda, konsolidasyon sonundaki boşluk oranının ortalama efektif gerilme (p') tarafından kontrol edildiği gözlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında normal konsolide kaolin kilinin, izotropik şartlarda gerçekleştirilen monotonik üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen drenajsız kayma mukavemetlerinin, anizotropik şartlardakinden daha büyük değerler aldığı görülmüştür. Benzer bir davranışın; başlangıç kayma gerilmesine maruz killerin tekrarlı yükler altındaki davranışında da görülebileceği düşüncesi araştırmaya değer bir konudur. Böyle bir durumda, özellikle, yapı yükleri altındaki killi zeminlerin dinamik yükler altındaki kayma direnci ile serbest saha koşullarındaki ($\tau_s = 0$) killerin kayma direnci arasındaki ilişkinin incelenmesi ilerleyen çalışmalar için önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Yoshimi, Y., & Oh-Oka, H. (1975). Influence of degree of shear stress reversal on the liquefaction potential of saturated sand. *Soils and Foundations*, 15(3), 27–40.
- [2] Yang, Z.X., & Pan, K. (2017). Flow deformation and cyclic resistance of saturated loose sand considering initial static shear effect. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 92, 68–78.
- [3] Dong, W., Hu, X., Zhang, Y., & Fu, H. (2019). Dynamic characteristics of marine soft clay under variable phase difference and initial static shear stress. *Marine Georesources & Geotechnology*, DOI: 10.1080/1064119X.2019.1622159
- [4] Wei, X., & Yang, J. (2019). Cyclic behavior and liquefaction resistance of silty sands with presence of initial static shear stress. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 122, 274–289.
- [5] Hyodo, M., Tanimizu, H., Yasufuku, N., & Murata, H. (1994a). Undrained cyclic and monotonic triaxial behavior of saturated loose sand. *Soils and Foundations*, 34(1), 19–32.
- [6] Zhang, J., Cao, J., & Huang, S. (2019). Experimental study on the effects of initial shear stress and vibration frequency on dynamic strength of saturated sands. *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID: 3758527, 1–9.
- [7] Hyodo, M., Yamamoto, Y., & Sugiyama, M. (1994b). Undrained cyclic shear behaviour of normally consolidated clay subjected to initial static shear stress. *Soils and Foundations*, 34(4), 1–11.
- [8] Boulanger, R.W., & Idriss, I.M. (2007). Evaluation of cyclic softening in silts and clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(6), 641–652.
- [9] Wang, J., Cai, Y., & Yang, F. (2013). Effects of initial shear stress on cyclic behavior of saturated soft clay. *Marine Georesources & Geotechnology*, 31(1), 86–106.
- [10] Mayne, P.W. (1985). Stress anisotropy effects on clay strength. *Journal of Geotechnical Engineering*, 111(3), 356–366.

- [11] Stipho, A.S. (1989). Effect of stress rotation on the strength and deformation of laboratory prepared clay samples. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 1(1-2), 67-81.
- [12] Yasuhara, K., Yamanouchi, T., & Hirao, K. (1982). Cyclic strength and deformation of normally consolidated clay. *Soils and Foundations*, 22(3), 77-91.
- [13] Konrad, J.M., & Wagg, B.T. (1993). Undrained cyclic loading of anisotropically consolidated clayey silts. *Journal of Geotechnical Engineering*, 119(5), 929-947.
- [14] Bhuria, N.R., & Sachan, A. (2014). Shear strength and constant rate of strain consolidation behaviour of cement-treated slurry-consolidated soft soil. *Current Science*, 106(7), 972-979.
- [15] Cai, Y., Hao, B., Gu, C., Wang, J., & Pan, L. (2018). Effect of anisotropic consolidation stress paths on the undrained shear behavior of reconstituted Wenzhou clay. *Engineering Geology*, 242, 23-33.
- [16] Pandya, S., & Sachan, A. (2019). Experimental studies on effect of load repetition on dynamic characteristics of saturated Ahmedabad cohesive soil. *International Journal of Civil Engineering*, 17(6), 781-792.
- [17] Pradhan, T.B.S., & Ueno, Y. (1998). Cyclic deformation characteristics of clay under different consolidation histories. *Pre-failure Deformation Behaviour of Geomaterials*, Geotechnique, Thomas Telford Ltd., London, 329-335.
- [18] Hyde, A.F.L., Higuchi, T., & Yasuhara, K. (2006). Liquefaction, cyclic mobility, and failure of silt. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(6), 716-735.
- [19] Germaine, J.T., & Ladd, C.C. (1988). Triaxial testing of saturated cohesive soils. *Advanced Triaxial Testing of Soil and Rock*, ASTM STP977, ASTM, Philadelphia, 421-459.
- [20] Head, K.H. (1994). *Manual of Soil Laboratory Testing – Volume 2: Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests*. John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 440.
- [21] Wang, Y.H., & Siu, W.K. (2006). Structure characteristics and mechanical properties of kaolinite soils. II. Effects of structure on mechanical properties. *Canadian Geotechnical Journal*, 43(6), 601-617.
- [22] Sachan, A., & Penumadu, D. (2007). Effect of microfabric on shear behavior of kaolin clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(3), 306-318.
- [23] ASTM D-4767-11. (2011). *Standard test method for consolidated undrained triaxial compression test for cohesive soils*. ASTM International, p.14.
- [24] Yasuhara, K., Hyde, A.F.L., Toyota, N., & Murakami, S. (1998). Cyclic stiffness of plastic silt with an initial drained shear stress. *Pre-failure Deformation Behaviour of Geomaterials*, Thomas Telford Ltd., London, 373-382.
- [25] Hyodo, M., Hyde, A.F.L., Yamamoto, Y., & Fujii, T. (1999). Cyclic shear strength of undisturbed and remoulded marine clays. *Soils and Foundations*, 39(2), 45-58.
- [26] Hyde, A.F.L., Higuchi, T., & Yasuhara, K. (2007). Postcyclic recompression, stiffness, and consolidated cyclic strength of silt. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(4), 416-423.
- [27] Nishie, S., Wang, L. & Seko, I. (2006). Undrained Shear Behaviors of High Plastic Normally K₀-Consolidated Marine Clays. *Soil Stress-Strain Behavior: Measurement, Modeling and Analysis Geotechnical Symposium in Roma*, 273-286.
- [28] Seed, H.B. (1983). Earthquake Resistant Design of Earth Dams. *Proc. Symp. on Seismic Design of Embankments and Caverns*, ASCE, 1, 41-64.

Derleme Makalesi- Review Article

Bitki Proteomik Çalışmalarında Kullanılan Yaklaşımlar ve Uygulama Yöntemleri

Aslihan GÜNEL^{1*}, Semra HASANÇEBİ², Talat YALÇIN³, Mahmut EMİR⁴,
Yahya Emin DEMİRCİ⁵, Melike DİNÇ⁶, Melda Zeynep GÜRAY⁷

Geliş / Received: 02/01/2020

Revize / Revised: 29/05/2020

Kabul / Accepted: 29/05/2020

ÖZ

Proteomik yaklaşımları 2000 li yılların başlarına kadar mikroorganizmalar ve hayvansal kaynaklı örneklerde ağırlıklı olarak kullanıldı. Bu dönemde bitki proteomik çalışmaları yok denecek kadar azdır. Bitkisel dokulardaki sert hücre çeperleri, karmaşık ve çok çeşitli sekonder metabolitlerin varlığı, fazla miktardaki pigmentler, proteazlar, polifenoller, polisakkaritler, nişasta ve lipitler total protein örneklerinin hazırlanması ve proteinlerin ayrımı sırasında pek çok soruna neden olmuştur. Ancak her bir sorunun üstesinden gelmek üzere sürdürülen çabalar sayesinde bitki dünyasında da proteomik yaklaşım kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu derlemede, örnek hazırlığından protein tanımlamaya kadar tüm basamaklar yönetsel gelişmeleri de kapsayacak şekilde ayrıntılı olarak ele alınmış ve konuyla ilgili araştırmacıların maksimum yararlanabileceği bir kaynak oluşturulmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler- *Proteomik, Bitki proteomik, Kütle spektrometresi, 2D-PAGE, 2D-LC*

¹Sorumlu yazar iletişim: agunel@ahievran.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5301-2628>)

Ahievran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kırşehir

²İletişim: semrahasancebi@trakya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3898-7413>)

Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Edirne

³İletişim: talatyalcin@iyte.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3780-702X>)

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Bölümü, Urla-İzmir

⁴İletişim: mhmtemr6@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-3834-811X>)

Ahievran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kırşehir

⁵İletişim: yemin_34@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-4065-3498>)

Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, İstanbul

⁶İletişim: melikedinc@iyte.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-0466-1781>)

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Bölümü, Urla-İzmir

⁷İletişim: mldguray@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-3092-7099>)

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Bölümü, Urla-İzmir

Approachs and Application Methods in Plant Proteomics Research

ABSTRACT

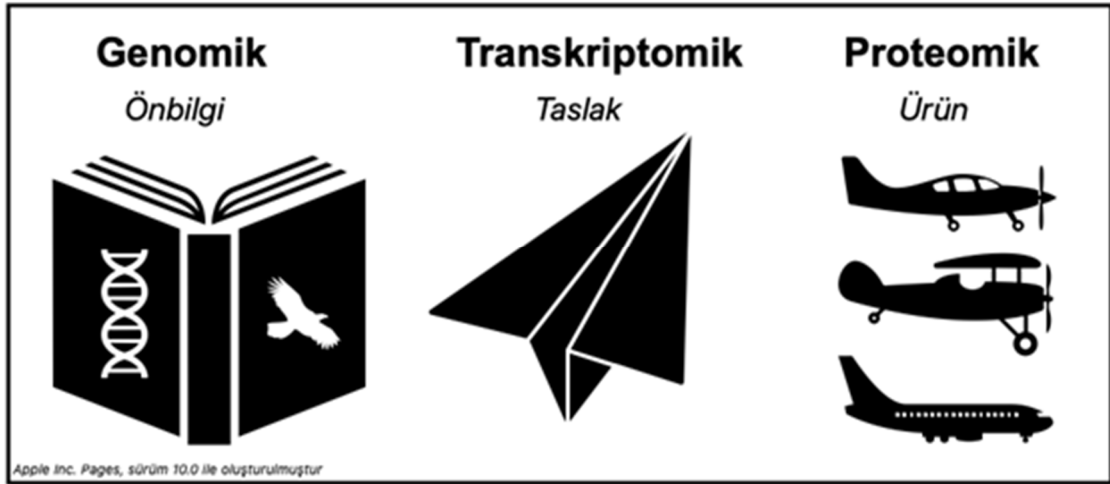
Proteomics approach was used mainly in the samples for microorganisms and animal tissues until early 2000s, the period during which the plant proteomics studies were scarcely available. Tough nature of cell membranes, existence of complex and diverse range of secondary metabolites, high abundance of pigments, proteases, polyphenols, polysaccharides and lipids caused a number of problems for preparation and resolution of the protein samples. However, proteomics approach in plant area had become widespread with the help of continuous efforts in order to overcome these difficulties. This review is prepared comprehensively from the preparation of the samples to the identification of the proteins and it aims to serve as a detailed source for the researchers interested in plant proteomics, especially for young investigators.

Keywords- *Proteomics, plant proteomics, mass spectrometry, 2D-PAGE, 2D-LC*

I. GİRİŞ

Son yıllarda genomik ve işlevsel genomik yöntemlerle birçok genin fonksiyonu tanımlanmasına rağmen tam olarak aydınlatılmayan biyolojik süreçler için araştırmacılar, bu süreçlerde doğrudan rol alan proteinler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu gelişmeler genomik sonrası çağda proteomik, transkriptomik, metabolomik ve matematiksel modelleme sistemlerini de içeren sistem biyolojisi yaklaşımını doğurmuştur.

Genomik, işlevsel genomik ve transkriptomik yaklaşımlarla, belli bir biyolojik süreçle ilişkili farklı ekspresyon yapan birçok gen tanımlanmasına rağmen bunların fonksiyonel olup olmadığı halen açık değildir. Transkripsiyonel değişimler, çoğunlukla biyolojik süreçleri yöneten proteinleri veya protein seviyesindeki değişimleri tam olarak yansıtamamaktadır. Bunun önemli nedenlerinden biri, bir genin birden fazla protein kodlayabilmesi, mRNA ürününün transkripsiyon sonrası modifikasyonlarla, farklı biyolojik işlevlere sahip farklı proteinlere dönüşebilmesidir (Şekil.1). Bir diğer önemli neden ise post translasyonel modifikasyonlar ve proteinlerin kararlılığındaki farklılıklardır. Çoğu durumda post translasyonel modifikasyonlar proteinin fonksiyonu ile doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla proteomik yaklaşımlar, bir biyolojik sürecin moleküler mekanizmasının aydınlatılmasında gerçeğe oldukça yakın sonuçlar ortaya koymaktadır.



Şekil 1. Genom, transkriptom ve proteom arasındaki ilişkiye yönelik basit bir tasvir

Proteomik, proteinlerin yapılarını, fonksiyonlarını, birbirleri ile ve diğer moleküllerle etkileşimlerini geniş bir skalada inceleyen bir bilim dalıdır. Proteomik terimi, 1994'te Marc Wilkins'in "Proteom" terimini tanımlamasını takiben 1996 da literatürdeki yerini almıştır [1].

Proteomik çalışmalar, proteinlerin kompleks ve dinamik yapıları nedeniyle genomik çalışmalara oranla daha zordur ve ancak bir biyolojik sistemde belli bir koşul ve belli bir zaman dilimindeki mevcut proteinlerin analizine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte canlının yaşamı boyunca karşılaştığı çeşitli durum ve streslere karşı geliştirmiş olduğu karmaşık metabolik ve düzenleyici reaksiyon yollarının detaylı biçimde incelenmesine olanak vermektedir.

Proteomik çalışmaların başladığı 1995 yılından bugüne kadar çeşitli kitap ve yayımlarda özel sayılar basılmaktadır. "Proteomics" dergisi spesifik olarak proteomik araştırmalarını kapsayan Wiley tarafından 2001 yılında basılmaya başlayan ilk bilimsel dergidir, ikinci sırada yer alan dergi ise American Society for Biochemistry and Molecular Biology tarafından 2002 yılında yayımlanmaya başlanan "Molecular & Cellular Proteomics" tir. Bugün itibari ile proteomik alanındaki çalışmaların yayımlandığı 19 dergi bulunmakta ve sayıları artmaya devam etmektedir. Bununla birlikte kapsamlı ve müşterek yürütülen projelerde, proteomik sonuçları tamamlayıcı veya destekleyici katkılar sunmaktadır.

Proteomik yaklaşımları 2000'li yılların başlarına kadar mikroorganizmalar ve hayvansal kaynaklı örneklerde ağırlıklı olarak kullanılmıştır. Bu dönemde bitki proteomik çalışmaları yok denecek kadar azdır. Bitkisel dokulardaki sert hücre çeperleri, karmaşık ve çok çeşitli sekonder metabolitlerin varlığı, fazla miktardaki pigmentler, proteazlar, polifenoller, polisakkaritler, nişasta ve lipidler total protein örneklerinin hazırlanması ve proteinlerin ayrımı sırasında pek çok soruna neden olmaktadır. Ancak her bir sorunun üstesinden gelmek üzere sürdürülen çabalar sayesinde bitki dünyasında da proteomik çalışmaların kullanımı yaygınlaşmıştır. Bugüne kadar 5610 (Google Scholar) "bitki proteomik" makalesi yayımlanmıştır. İlk bitki proteomik makaleleri 2001 yılında Konishi ve ark. ve Imin ve ark. tarafından Proteomics te basılmıştır [2,3]. Her iki çalışmada araştırmaya konu olan bitkisel materyal çeltiktir ki bu bitki ilk genom dizisi çıkarılan tahıldır. Konishi ve arkadaşları [2] tarafından gerçekleştirilmiş olan bu çalışma bitki patojen etkileşimi ile ilgili araştırmayı kapsamaktadır.

Bitkilerde proteomik çalışmalar, çeşitli bakış açıları kapsamaktadır. Bunlar; a) yaprak proteomu [4] gibi bir organizmanın total proteom profillemesi, b) Arabidopsis kloroplast lümeni proteom haritalaması [5], pirinç yaprak kını proteom haritalaması [6], zorunlu biyotrofik mantarlar ve bitki arasında besin alış verişini sağlayan organ olan haustoria organelinin proteom haritalaması [7,8] gibi hücre altı proteom (subcellular proteomics) çalışmaları, c) tahıllarda pas hastalıklarına neden olan Puccinia triticina ile enfekte buğday yaprak proteomu [9], çeltikte yanıklık hastalığına neden olan Magnaporthe grisea ile enfekte çeltik proteomu [10] gibi biyotik ve abiyotik stresi temel alan çalışmalar [11], ve d) bitki patojenlerinin ekstraselüler proteinlerinin tanımlanmasını sağlayan sekretom analizleridir ki bu grup çalışmalara örnek olarak Verticillium albo-atrum ve Magnaporthe oryzae [4,12], sekretom analizleri ve Fusarium graminearum'un karşılaştırmalı sekretom analizleri [13] verilebilir.

Bitki proteomiğinin ilk yıllarında, model bitkiler de -özellikle Arabidopsis ve Çeltik gibi- gerçekleştirilen çalışmalarda genel olarak çeşitli bitki doku ve organlarının proteom profillemesi yapılmıştır. Bu çalışmalar dokulara özgü proteomik metotların geliştirilmesine de olanak sağlamıştır. Bir sonraki adım hücre altı proteomik çalışmalarıdır. Yöntemsel kısıtlar/zorluklar ve elde edilen protein miktarının düşüklüğü gibi nedenlerle bütün organizmalarda hücre altı proteomik çalışmalarının sayısı son derece azdır, bitkiler de ise oldukça kısıtlıdır. Bununla birlikte mısırdaki mitokondriyal proteomik [14], kloroplast proteomik [15,16], hücre duvarı çözünür proteinlerini kapsayan proteomik çalışması [17], Arabidopsis bitkisinde izotopla etiketlenme (ITRAQ) yöntemi kullanılarak endoplazmik retikulum, plazma membran, vakuol membranı ve golgi aparatlarının proteom profilinin çıkarılması [18], kistor yağ bitkisi (Ricinus communis) tohumlarının çimlenme ve gelişme dönemlerinde endoplazmik retikulum proteomlarının karşılaştırmalı incelendiği [19] çalışmalar bu alanda gerçekleştirilmiş önemli örneklerdir. Son yıllarda proteomiğin bitki dünyasındaki en yaygın uygulama sahası biyotik ve abiyotik stres toleransı ve moleküler mekanizmasıdır [20,21].

Özellikle biyotik stres toleransında son derece etkili olan bitkinin salgı proteinleri (sekretom) son 10 yılda oldukça ilgi duyulan bir alan olmuştur. Özellikle zorunlu biyotrof olan patojenlerin (külleme, pas hastalıklarına neden olan funguslar gibi) enfekte ettikleri bitki ile etkileşimlerinde sekretom profilleri bitki hücre duvarı ile plazma membranı arasında bulunan ekstraselüler sıvının izolasyonu, izole edilen sıvıdaki proteinlerin ekstraksiyonu ve proteomik tekniklerle tanımlanması ile gerçekleştirilmektedir. Çok yeni olan bu alanda yayınlanan araştırma sayısı oldukça azdır [21,22].

Bu yöntem bazlı derleme çalışmasında bitki proteomiğinin mevcut durumuna ilişkin çok kısa bir giriş verilmiştir. Derlemenin asıl amacı bu alanda çalışmak isteyen meslektaşlarımıza ve kariyerine yeni başlamakta olan genç arkadaşlarımıza, konu ile ilgili kullanılan teknikleri ve araçları, örnek hazırlığından itibaren detaylı şekilde vermektir. Dolayısıyla okuyucular yöntem odaklı bir akış ile karşılaşacaklardır.

II: BİTKİLERD KULLANILAN PROTEOMİK METOTLARI

Proteomik çalışmalarında temel olarak jel bazlı ve jelsiz proteomik yaklaşımları olmak üzere iki yaklaşım kullanılmaktadır. Jel bazlı yaklaşımlarda, iki boyutlu jel elektroforezi (2D-PAGE, two dimensional polyacrylamide gel electrophoresis) ile kombine edilmiş olan kütle spektrometresi (MS) analizlerini ve tek bir 2 boyutlu jel elektroforezi ile belli bir koşula tabii tutulmuş (ilaç uygulaması, hastalık, kuraklık, tuz vb.) olan test örneğinin kontrol örneği ile aynı jelde 2D-PAGE yöntemi kullanılarak ayrılmasını sağlayan DIGE (Differential gel electrophoresis)[23] ile kombine MS analizlerini içermektedir. DIGE tekniğinde kontrol ve test örnekleri farklı floresan özellikteki Cyanin boya ile (Cy2, Cy3, Cy5 gibi) etiketlendikten sonra her iki örnek karıştırılır ve klasik

2D-PAGE de olduğu gibi sonraki işlemlere devam edilir. Bir diğer teknik ise tek boyutlu jel elektroforezi ile ayırmanın sağlanıp sıvı kromatografisi ile kombine edilmiş MS (LC-MS/MS) analizlerinin uygulandığı 1D-gel/LC-MS/MS yaklaşımıdır.

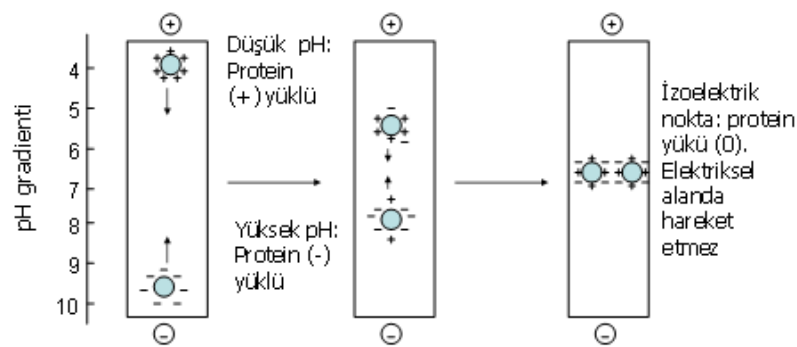
İki boyutlu jel elektroforezini temel alan proteomik yaklaşımında bitki organ ve organellerinden amaca uygun bir metot ile ekstrakte edilen protein örneği 1.boyutta proteinlerin yüküne göre 2.boyutta ise yüklerine göre ayrılan proteinlerin molekül ağırlıklarına göre ayrılmasını temel almaktadır. Burada ayrıntılı bir şekilde bahsedeceğimiz 2 boyutlu jel elektroforezi yöntemi denatüre edici ve indirgeyici koşullarda gerçekleştirilmektedir. Ayrıca proteinlerin 3 boyutlu yapılarını koruyarak gerçekleştirilen 2D-PAGE yöntemi de özellikle membran proteinlerinin veya organel bazında gerçekleştirilen bitki proteomik çalışmalarında uygulanmaktadır. Bu amaçla kullanılan iki boyutlu elektroforez yönteminin adı ise 2D-BNPAGE (Two Dimensional blue native polyacrylamide gel electrophoresis) [24] dir.

A. Jel Bazlı Yaklaşımlar

Birçok biyolojik molekül gibi proteinlerin ayırımında da elektroforez yöntemi yaygın biçimde kullanılmaktadır. Elektroforezin çalışma ilkesi; elektrik alan uygulanmış bir jelde elektrik enerjisinin bir yükten diğerine giderken moleküllerin hareketini sağlaması ve moleküllerin molekül ağırlık ve boyut etkisi ile jelde kat ettikleri molekül ağırlığı ve moleküle bulunan elektrik enerjisinin jel içinden bir yükten diğerine giderken kat ettiği mesafe farklılıklarına dayanmaktadır [25]. Elektroforezde kat edilen mesafe, net yük ile doğru, molekül büyüklüğü ve ortamın viskozitesi ile ters orantılıdır. Elektroforezde destek ortam olarak agaroz ve nişasta jelleri kullanılmakla birlikte genellikle daha yüksek çözünürlükte ayırım için Poli Akrilamid jel (PAGE) tercih edilmektedir.

Proteinlerin ayrılmasında kullanılan sodyum dodesil sülfat poliakrilamid jel elektrofezi (SDS-PAGE) tekniğinde denatüre edici ve indirgeyici maddeler bulunmaktadır. Bu maddeler sayesinde proteinlerin alt birimleri birbirinden ayrılarak incelenir. Proteinlerin tek boyutlu ayırımında kullanılan SDS-PAGE de belli bir proteinin saflığı ve yapısı incelenirken bir yandan da az sayıda proteinden oluşan karışımların ayrılması sağlanmaktadır. Ancak proteomik çalışmalarda bir hücreyi oluşturan tüm proteinlerden oluşan bir karışım söz konusu olduğundan ayırım gücü daha yüksek yöntemlere gereksinim duyulmaktadır.

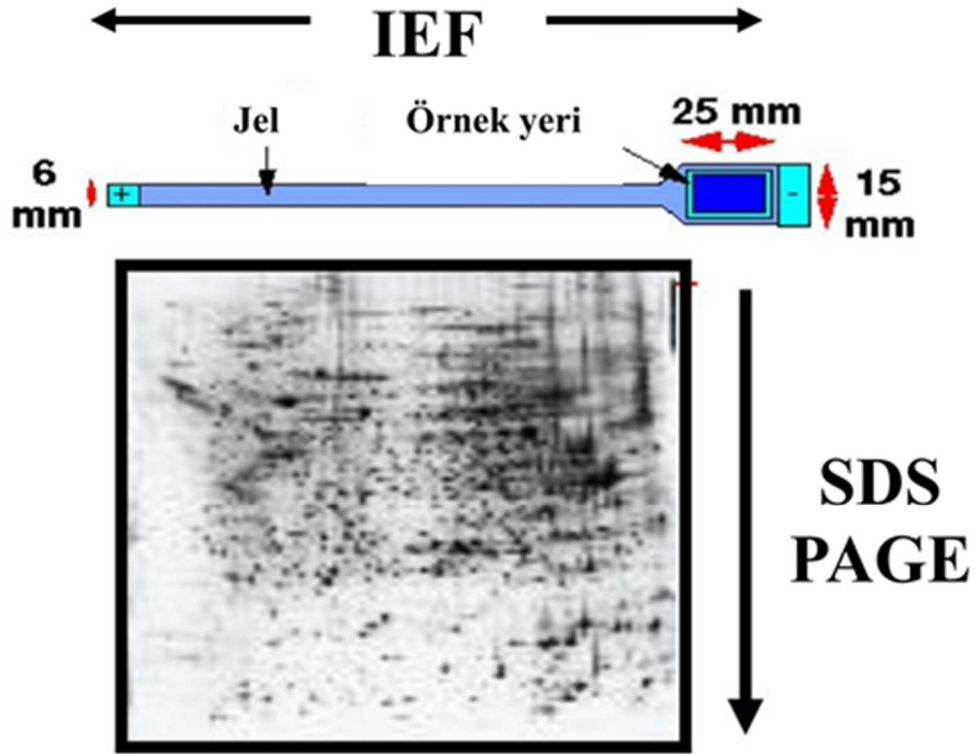
SDS-PAGE yöntemi ile izoelektrik odaklamanın (IEF) bileşimi olan 2D PAGE, kompleks protein karışımlarının ayırımında kullanılan önemli bir tekniktir. Bu yöntem ilk olarak 1975 yılında O' Farrel (1975) tarafından tanımlanmıştır ve moleküller birinci boyutta izoelektrik noktalarına (pI) göre ikinci boyutta ise molekül ağırlıklarına göre ayrılmaktadırlar. Klasik elektroforezden farklı olarak IEF (Şekil 2), proteinlerin bir pH gradyentinde pI değerlerine göre ayrılması prensibine dayanır. Bu yöntemde; pH gradyenti, düşük molekül ağırlıklı amfoterik maddelerin (amfolitler) yardımıyla oluşturulur. Bu moleküller, proteinler gibi bir pI değerine sahip oldukları için uygun pH noktalarında net elektrik yükleri sıfırdır.



Şekil 2. İzoelektrik odaklama prensibinin şematik gösterimi

IEF de elektroforez için kullanılan tampon sistemi yerine, anotta kuvvetli bir asit, katotta da kuvvetli bir baz kullanılır. Jel ortamına da gerektiği kadar amfolit solüsyonu katılır. Sisteme akım verilir ve amfolitler pI ya göre jelde düzenlenirler. En asidik olan anoda, en bazik olan da katoda doğru ilerler. Bunun sonucu jel içinde anottan katoda doğru artan, 2,5-11 arasında bir pH gradyenti oluşur. Bu basamak, agaroz veya poliakrilamid jel gibi büyük porlu bir ortamda gerçekleştirilir. Bir proteinin çözünürlüğü pI noktasında minimum olduğu ve protein molekülü bu pH değerinde net bir yük taşımadığı için elektrik alanında hareket edemez. Dolayısıyla IEF jeline uygulanan örnekteki proteinler, jel üzerinde net yüklerinin sıfır olduğu pH değerine kadar göç ederler ve bu noktada hareketsiz kalırlar (Şekil 2). Son yıllarda çeşitli firmalar tarafından istenilen pH aralığına sahip IEF stripleri geliştirilmiştir ve ticari olarak satılmaktadır. IEF'in strip sistemi ile gerçekleştirilmesi metodu Görg ve ark. tarafından 1988 yılında sunulmuştur [26].

Birinci boyut ayırımının proteinlerin pI değerine göre gerçekleşmesinden sonra II. boyut ayırım aşamasına geçilir. II. boyutta ayırım için genellikle lineer veya gradyent şekilli bir poliakrilamid jel kullanılır ve proteinler bu yönde molekül ağırlıklarına göre ayrılır. IEF işleminden sonra IEF tepsisinden çıkarılan IEF stripleri (jelleri) II. boyut ayırım için SDS içeren bir dengeleme tamponu ile muamele edildikten sonra bir poliakrilamid gradyent jel ile temas haline getirilir ve elektroforez işlemi başlatılır. pI noktalarına göre IEF üzerinde belli pH noktalarında toplanan proteinler II. boyuttaki ayırmada molekül büyüklüklerine göre ayrılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. 2D-PAGE'de proteinlerin iki boyutlu ayırım şeması [27]

İşlemin sonunda jel boyanarak ayrılan proteinler görünür hale getirilir. En çok kullanılan boyar madde "Coomassie blue (CBB)" dur. Daha duyarlı bir boyama tekniği ise gümüş boyamadır. Coomassie boyamayla genellikle 25-50ng civarında proteinlerin görüntülenmesi sağlanırken, gümüş boyama 5ng seviyesindeki proteinlerin tespitine izin veren daha hassas bir tekniktir. İyi bir ayırım ve boyamanın ardından tek bir jelde en az 1000 farklı proteinin görüntüsü elde edilebilmekte ve böylelikle 2 ayrı jelde farklı protein örnekleri tespit edilebilmektedir. Jel görüntüledikten sonra fotoğrafı çekilebilir, ya da densitometre ile taranarak analiz edilebilir. CBB ve gümüş boyama gibi spotların gözle görülebildiği boyama tekniklerinin kullanımı durumunda bazı

firmalara ait çok yüksek çözünürlüklü 2 boyutlu jel tarayıcılar kullanılarak yine bu firmalara ait PDQuest, Melanie, Dymension veya Delta 2D gibi yazılımları kullanılarak jellerdeki spotlar analiz edilir. Floresan boyama tekniklerinin kullanılması durumunda ise floresan görüntüleme özelliğine sahip görüntüleme sistemleri kullanılmalıdır.

1)Yöntem: Çalışmada kullanılacak olan bitki örnekleri; kontrol ve abiyotik/biyotik stres gibi uygulama yapılmış test materyalinden oluşur. Bitkiler, uygun koşullarda yetiştirildikten sonra belli zaman aralıklarında uygun dokulardan örnek alınır ve hemen sıvı azot içerisinde dondurularak, çalışma gerçekleştirilene kadar -80°C derin dondurucuda depo edilir.

Total Protein Örneklerinin Hazırlanması:

İster hayvansal materyal ister hücre hatları, mikro organizmalar isterse bitki materyali için proteomik çalışması planlanmış olsun bu çalışmaların en kritik adımı örnek hazırlığı adımıdır. Çünkü protein örneği doğru hazırlanmaz ise bütün diğer adımlardan alınacak sonuçların güvenilirliği sorgulanır. Her örnek tipi için uygun protein ekstraksiyon yöntemi çalışmalara başlanmadan önce optimize edilmelidir. Her örnek tipi için kullanılacak yöntemler amaca ve başlangıç materyal miktarına bağlı olarak değişebilmekle birlikte hayvansal sıvı ve doku örnekleri ve hücre hat örnekleri için standart yöntemler mevcuttur. Oysa bitkiler için durum farklıdır, türe ve doku tipine bağlı olarak farklı yöntemler kullanılmaktadır.

Bitki Örneklerinden Protein Ekstraksiyonu

Bitki materyalinden protein ekstraksiyon işleminde tek ve standart bir yöntem maalesef bulunmamaktadır. Bunun nedenleri şu şekilde özetlenebilir: 1. Bitkiler hayvansal organizmalardan farklı olarak hücre duvarına sahiplerdir. 2. Proteazlar açısından son derece zengin canlılardır. 3. Fenolik bileşikler polisakkaridler açısından son derece zengindirler, 4. Bitkinin farklı dokularına göre değişen yüksek bollukta proteinlere sahiptirler örneğin bitkinin yeşil kısımlarıyla çalışıldığında elde edilen total proteinlerin yaklaşık %50'sini fotosentezde rol alan RuBisCo (Rubiloz-bifosfat karboksilaz) oluşturur. Bu durum düşük anlatım düzeyine sahip proteinlerin ve RuBisCo ile özdeş pI noktasına sahip olan proteinleri maskeler, görüntülenmesini ve tanımlanmasını engeller. Aynı şekilde kök örnekleri ile çalışılacaksa farklı depo proteinlerinin zenginliği benzer sorunlara neden olmaktadır. Dolayısı ile örnek hazırlığında kullanılan gerek mekanik gerekse kimyasal metotların bu problemleri minimum seviyeye çekecek şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir. Bitki proteomik çalışmalarında bütün bu problemleri maksimum düzeyde bertaraf etmek amacı ile temel olarak iki protein ekstraksiyon yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemler:

- TCA/Aseton Çöktürme yöntemi.
- Fenol-SDS/Metanol Çöktürme yöntemi

Her iki yöntemde de bazı kontaminantların giderilmesi için diğer bazı kimyasalların kullanımı gerekmektedir. Bunlardan polivinilpolipirrolidon (PVPP), proteaz inhibitörleri, tiyoüre, ve çeşitli noniyonik deterjanlar sıklıkla bitki örneklerinden protein ekstraksiyonunda kullanılan maddelerdir.

Bitki doku ve organellerinden total protein ekstraksiyonunda en başarılı sonuçların alındığı ve tarafımızca yapılan proteomik çalışmalarda da kullanılan TCA/Aseton ile çöktürme ve Fenol-SDS/Metanol yöntemi ile ekstraksiyon yöntemleri detaylı olarak aşağıda verilmiştir. Bu yöntem temel [9] alınarak uygulanmaktadır.

TCA/Aseton Çöktürme yöntemi [9]

Bu yöntem bitki dokulardan protein ekstraksiyonu için kullanılabilir ve işlem soğukta (0-+4°C) de gerçekleştirilmelidir. Yöntemin uygulaması sırasında kullanılan solüsyon ve kimyasallar şöyledir;

TCA/aseton çözeltisi: Soğuk aseton içerisinde % 0,07 (w/v) 1,4-Dityotreitol (DTT) ve % 10 (w/v) TCA çözündürülerek hazırlanır ve kullanılmaya kadar -20°C de saklanır.

Yıkama çözeltisi: % 0,07 (w/v) DTT içeren soğuk aseton çözeltisi .

IEF çözeltisi: 7M üre, 2M tiyoüre, % 4 (w/v) CHAPS (3-[(3-Kolamidopropil) dimetilamonyo]-1-propansülfonat), 20mM DTT, % 1 (w/v) amfolit pH 3-10.

Amaca uygun koşullarda yetiştirilmiş bitki materyali (yaprak, sap, kök vb) hasat edilir edilmez hemen sıvı azota alınarak dondurulur. Eğer örnek hemen kullanılmayacaksa -80°C de saklanır. Uygun ebatlardaki steril havan ve havan kolları, değişik büyüklüklerde spatüller -20°C'de kullanılabilecek kadar depolanır. İşlem esnasında bu spatüller sıvı azot ortamında tutulur.

Ekstraksiyondan önce çalışılacak alan önce normal şekilde temizlendikten sonra %70 alkol ile silinir. -20°C de ki havan-havan kolu çıkarılarak sıvı azot ile soğutulur ve içinde sıvı azot var iken minimum 1g bitki materyali havan içerisine konarak kontaminasyonu ve/veya protein kararlılığının korunması için gerekli proteaz inhibitörleri gibi maddeler de eklenerek havan içerisindeki bitki materyali, sık sık azot ilavesi yapılarak, havan kolu yardımıyla 25-30 dakika örneğin erimesine izin vermeden çok ince toz haline getirilir (havan içerisindeki örnek beyaza yakın renk aldığı anda öğütme işlemi tamamlanmış demektir).

Öğütme işlemi tamamlanır tamamlanmaz havan içeriği 8-10mL (1g bitki materyali için) soğuk TCA/Aseton çözeltisi içeren santrifüj tüpüne alınarak hızlı bir şekilde soğukta 1 dakika boyunca vortekslenir.

Elde edilen örnek süspansiyonu -20°C de çökmeye bırakılır. -20°C deki inkübasyon sırasında her 15 dakikada bir örnek 30 saniye şiddetlice vortekslenir ve tekrar -20°C'ye bırakılır. Bu işlem 6-8 saat boyunca tekrarlanır ve örnekler gece boyu -20°C'ye bırakılır. Ertesi gün çökmeye bırakılan örnekler 12.000xg de 20 dakika 4°C de santrifüjlenir. Süpernatant atılır ve bitki materyalindeki total proteini içeren çökelti (pellet) 10mL soğuk yıkama çözeltisi eklenerek ve 30 saniye vortekslenildikten sonra -20°C de 10 dakika inkübe edilir ve yukarıdaki gibi santrifüj edilir. Süpernatant atılır, bu işlem 6-8 defa tekrarlanır (buradaki kriter süpernatantın berrak olması yani klorofil ve benzeri bitki pigmentlerinin mümkün olduğunca uzaklaştırılmasıdır). Elde edilen Pellet "Acetone-powdered" protein olarak isimlendirilmektedir. Ama bu elde edilen pellet sadece proteinden ibaret değildir aynı zamanda diğer hücre kalıntıları da içermektedir. Pellet inert gaz ortamında kurutulur (bu aşamada tam kurutma önerilmez).

Kuru pellette bulunan protein içeriği IEF çözeltisi (7M üre, 2M tiyoüre, % 4 (w/v) CHAPS, 20mM DTT, % 1 (w/v) amfolit pH 3-10) ile çözünür hale getirilir. Bu işlem yaklaşık 3-4 saat kadar çözünürleştirme çözeltisinde orbital karıştırıcı üzerinde 250RPM de oda sıcaklığında inkübasyonu gerektirmektedir. Bu işlem sırasında örnek 3-4 defa buz üzerinde ultrasonik banyoda 1 er dakikalık periyotlar halinde tutulur. İnkübasyondan sonra örnek 30.000xg de 20°C de 30 dakika santrifüjlenir (20°C nin altındaki sıcaklıklarda üre kristallenir). Bu aşamada süpernatant hacmine uygun steril bir tüpe aktarılır. Protein ekstraksiyonu sırasında ayıramayan küçük nükleotid parçalarını uzaklaştırmak için 100.000xg 1 saat 20°C de santrifüj edilir. Uzaklaştırılmayan nükleotid parçaları, 2D-PAGE te IEF işlemi sırasında örneğin jelle girmesini engelleyerek IEF işleminin başarısını düşürür. Bu işlemle protein örneği berrak bir hale gelir (Ultra santrifüje ulaşım imkânı varsa bu adımın atlanmaması önerilir çünkü bu adım elde edilecek proteinin kalitesi ve sayısını arttırmaktadır).

Elde edilen protein derin dondurucuya kaldırılmadan önce kantitatif olarak protein miktarı tayin edilmelidir. Protein tayini için bikinkoninik asit yöntemi, Lowry yöntemi, Bradford yöntemlerinden biri kullanılabilir. Ancak protein çözünürleştirmek için kullanılan IEF çözeltisindeki kimyasallara en yüksek toleransı gösteren Bradford yöntemidir. Protein tayin işleminde hem standartlar hem de örnekler en az 2 tekrarlı çalışılmalıdır.

Fenol-SDS Metodu [27]

Bu yöntem bitki ve mantar dokularından protein ekstraksiyonu için kullanılabilir. Yöntemin uygulanışı sırasında kullanılan solüsyon ve kimyasallar şöyledir;

SDS Tamponu: %30 (w/v) sukroz, %2(w/v) SDS (Sodyum Dodesil Sülfat, 0,1M Tris.HCl pH8,0 ve 1mM PMSF (Fenil Metil Sülfonil Florür).

Fenol Solüsyonu: Tris ile doyurulmuş (Sigma, USA)

Amonyum asetat/metanol çözeltisi: 0,1M amonyum asetat mutlak metanol içerisinde hazırlanır ve -20oC de saklanır.

Protein Çözünürlüştürme Tamponu: (7M üre (Sigma, USA), 2M tiyoüre (Sigma, USA), %4(w/v) CHAPS (3-[(3-Kolamidopropil) dimetilamino]-1-propansülfonat) (Sigma, USA), 30mM DTT (Merck, USA).Bitki materyali tartılarak sıvı azot yardımı ile havanda yaklaşık 1 saat çok ince toz haline getirilir. Ezme işlemini takiben çok ince toz haline getirilen bitki dokusu, ağırlığının 3 katı soğuk SDS-Tamponu içeren tüp içerisine alınır. Daha sonra bu karışım ultrasonik banyoda 6 defa 15 saniye buz içerisinde sonikasyon işlemine tabi tutulur. Sonikasyon sonrasında elde edilen örnek süspansiyonu üzerine başlangıç SDS-tamponuna eşit hacimde Tris ile doyurulmuş Fenol Solüsyonu eklenerek +4°C'de 10 dakika vortekslenir. Vorteks işleminden sonra çözelti santrifüj tüplerine alınarak 8.000 xg'de 10 dakika +4°C'de santrifüj yapılır. Santrifüj sonrasında proteini içeren en üstteki fenolik faz ayrı bir temiz tüpe alınarak alttaki pellet (katı) faza tekrar aynı miktar fenol katılarak ekstraksiyon işlemi tekrarlanır, elde edilen fenolik fazlar birleştirilir. Bu toplanan fenolik fazın üzerine toplam hacmi kadar SDS-tampon eklenerek 3-10 dakika soğukta karıştırılır. 8.000xg'de 10 dakika +4°C'de santrifüj yapılır, süpernatant temiz bir santrifüj tüpüne alınarak hacminin 3 katı kadar soğuk 0,1M amonyum asetat/metanol çözeltisi eklenerek bir gece boyunca (16-18 saat) -20°C'de çökmeye bırakılır. Bir sonraki gün -20°C'den çıkartılan örnekler 10.000xg'de 30 dakika +4°C'de santrifüj yapılır ve bu işlem 6 defa tekrarlanır. 6. santrifüjden sonra süpernatant kısmı atılır ve pellet kısmı alınarak % 0,07 (w/v) DTT (1,4-Ditiyotreitöl) (Merck, USA) içeren aseton ile muamele edilerek 10.000xg de 30 dakika +4°C'de santrifüj yapılır. Süpernatant kısmı atılır ve elde edilen saf proteinlerin bulunduğu pellet kısmı azot gazı altında kurumaya bırakılır. Elde edilen protein, çözünürlüştürme tamponu ile süspanse edilir ve pipet ile al-ver yaparak soğukta 1 saat boyunca maksimum çözünürlüğü elde etmek için yavaşça karıştırılır. Proteinlerin çözünmesini arttırmak için 6 kez 15 saniye soğukta sonike edilir ve 30.000xg'de 30 dakika +4°C'de santrifüjlenir. Protein içeren süpernatant temiz bir tüpe alınır. Örneklerden elde edilen protein konsantrasyonu Bradford Reaktifli veya yukarıda adını saydığımız metotlardan biri ile tayin edilir. Elde edilen protein viallere bölünerek -80°C de saklanır.

Proteinlerin İki Boyutlu Ayrımı

IEF İşlemi (1. Boyut)

IEF işleminde kullanılan jel çubukları plastik bir yüzeye ko-polimerize edilmiş olan akrilamid bazlı jellendir ve 0,5mm kalınlığında kuru halde ticari olarak temin edilmektedir. Stripler kullanılacağı ana kadar -20°C'de depolanmalıdır (bu stripler -20°C'den çıkarılır çıkarılmaz 10 dakika içerisinde kullanılmalıdır) ve kullanılmadan önce rehidrasyon yapılmalıdır. Rehidrasyon işlemi sonucunda jel kalınlığı orjinal kalınlığı olan 3mm ye ulaşır.

Rehidrasyon işlemi, jel çubukları 7M üre, 2M tiyoüre, 20mM DTT, %2 CHAPS ve %1 amfolit içeren çözelti içerisinde 10-12 saat +20°C'de inkübasyonu ile gerçekleştirilir. Rehidrasyon işlemi örnekli veya örneksiz olarak ve aktif veya pasif olarak uygulanır. Jel çubukları rehidrasyon çözeltisinde çözülmüş protein örneği rehidrasyon tepsisi içerisindeki kuyulara yerleştirilerek üzeri mineral yağla kaplanır ve inkübasyon işlemi uygulanır. Eğer işlem sırasında düşük voltaj (50V) da uygulanırsa bu işleme örnekli aktif rehidrasyon denir. Uygulanmaz ise örnekli pasif rehidrasyon denir. Genel olarak örnekli pasif rehidrasyonu önerilmektedir.

Rehidrasyon işlemini takiben IEF izoelektrik odaklama (IPGphor3GE Healthcare) cihazında bulunan odaklama tepsisinin kuyularına rehydrate edilen jel çubukları yerleştirilir ve çubukların + ve - uçlarına 150µL saf su ile ıslatılmış elektrod kağıtları yerleştirilir. Mineral yağ (Merck, USA) jelli ve jelsiz bütün kuyulara eklenir (toplam 108mL) ve elektroforez işlemi başlatılır. IEF koşulları Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. IEF Koşulları*

Step	[V]	süre	Vh
1	Step	100	00:30
2	Step	250	250
3	Grad	500	500
4	Grad	1000	1500
5	Grad	10000	22000
6	Step	10000	50000
7	Step	100	10:00

*Bu koşullar, 4-7 pH gradyentine sahip 24cm lik IPG jel çubukları için optimize edilmiştir, her örnek ve kullanılan pH gradyenti ve jel çubuğu uzunluğu için optimize edilmelidir.

SDS-PAGE (2. Boyut)

Dengeleme Çözeltisi I: 50mM Tris.HCl pH 8,8, 6M üre, % 30 (v/v) gliserol, %2 (w/v) SDS ve % 1 (w/v) DTT.

Dengeleme Çözeltisi II: 50mM Tris.HCl pH 8,8, 6M üre, % 30 (v/v) gliserol, %2 (w/v) SDS ve % 2,5 IAA (w/v).

Akrilamid Monomer Çözeltisi: %29,2 Akrilamid (w/v), %0,8 (w/v) bisakrilamid içerecek (%30(T)) şekilde hazırlanır

Tris.HCl: 1,5M pH 8,8

SDS Çözeltisi: %20 (w/v)

Amonyum peroksido sülfat (APS): % 10 (w/v)

N,N,N',N'-Tetramethyl etilendiamin (TEMED)

TGS (Tris Glisin SDS) Tamponu: 192mM glisin, 25mM tris, % 0,1 (w/v) SDS

% 0,5(w/v) Agoroz çözeltisi: 0,5g düşük erime noktalı agaroz 1XTGS içinde kaynatılarak çözülür ve sıcaklığı 70°C de sabit tutulur.

İzoelektrik odaklama işlemi sonunda IPG jel çubukları ikinci boyut jeli olan SDS-PAGE'e yüklenmeye uygun hale getirilmek üzere sırası ile indirgenme ve alkilasyon ajanları içeren dengeleme tamponları içinde 20'şer dakika 1500rpm'de çalkalamalı inkübatörde muamele edilir. Dengeleme işleminden sonra jel çubukları 30 saniye SDS-PAGE yürütme tamponu (TGS) ile muamele edilerek (%10-%20) SDS-PAGE'e yüklenir. IPG jel çubukları SDS-PAGE'e agoroz çözeltisinden 3-4mL eklenmek sureti ile sabitlenir. Elektroforez işlemi ilk 1 saatte 20mA/jel sonra bromfenol blue izi kaseti terk edene kadar 40 mA/jel olacak şekilde gerçekleştirilir. Gradyent jel çözeltisi hazırlama koşulları Tablo 2'de verildiği gibidir. Tarafımızca yapılan çalışmalarda en iyi sonuç gradyent jel kullanarak elde edilmiştir. Bu alanda çalışmaya yeni başlayanlar için %15 akrilamid konsantrasyonlu bir jel ile başlanması önerilir. Böylece örneğin protein profili hakkında bilgi elde edilerek buna göre daha düşük konsantrasyonlu veya yüksek konsantrasyonlu jeller tercih edebilir. Gradyent jel dökmek için gradyent oluşturucu ve peristaltik pompaya sahip olunmalıdır.

Tablo 2. Gradyent Jel Çözeltisi Hazırlanışı*

Kullanılan Maddeler	%10 Konsantrasyon (az yoğun jel karışımı) 275mL	%20 Konsantrasyon (çok yoğun jel karışımı) 275mL
Akrilamid-Bisakrilamid	92mL	183mL
1,5mM Tris.HCl pH 8,8	69mL	69mL
Milli Su	110mL	1,2mL
%20 SDS	1,38mL	1,38mL
Gliserol	-	19mL
%10 APS (10/100 w/v)	2,75mL	1,4mL
%100 TEMED	47µL	8µL

*Tabloda verilen hacimler 20x25x0,15cm'lik jel kasetleri (24cm'lik IPG jel çubukları) içindir.

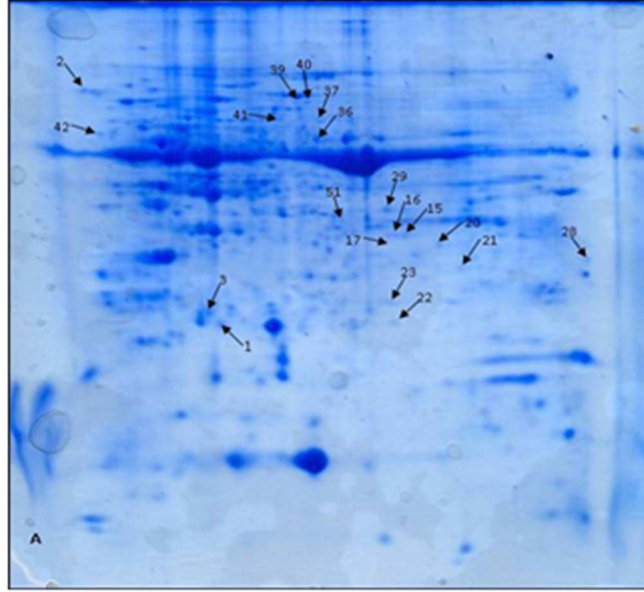
Jel Görüntüleme İşlemi

Protein miktarına bağlı olarak yaygın olarak kullanılan yöntemler Comassie Brilliant Blue, Gümüş Boyama teknikleri, floresan boyalar kullanılabilir. Bu teknikler arasında hassasiyeti en yüksek olan teknik floresan boyama teknikleridir ki standart 10X10X0,15cm'lik bir SDS-PAGE için yaklaşık 5µg protein miktarı ile başlamak yeterlidir fakat bu boyalar pahalıdır ayrıca görünür hale getirmek için de özel görüntüleme araçlarına gereksinim vardır. Gümüş boyama yönteminin hassasiyeti gümüş boyama protokolüne bağlı olarak 0,25ng'a kadar düşebilmektedir. 2D-PAGE analizlerinde gümüş boyama ile sonuç alabilmek için IPG jel çubuklarına yüklenmesi gereken optimum protein miktarı 200µg'dır fakat 100µg ile de jelde protein spotları görülebilir.

Gümüş boyama tekniği her ne kadar hassasiyeti yüksek olduğu için tercih edilebilir görünse de gümüş boyama kitlerinin raf ömürlerinin kısıtlılığı ve daha da önemlisi proteinlerin yanı sıra nükleotidlerin de boyanma ve sanki protein spotu gibi değerlendirilebilme riski yöntemin dezavantajlarıdır. Bu nedenle CBB boyama tekniği önerilmektedir. Bu boyama yönteminde 2 teknik kullanılmaktadır;

1. Asetikasit-metanol çözücü sisteminde çözülmüş CBB R250'nin kullanıldığı yöntem: standart SDS-PAGE analizlerinin yapıldığı laboratuvarlarda rutinde kullanılmaktadır. Hassasiyeti gümüş boyamadan düşüktür fakat hızlı bir yöntemdir, maksimum 2-3 saat içerisinde sonuç gözlenebilir.

2. Kolloidal CBB tekniği: bu yöntemin hassasiyeti neredeyse gümüş boyama hassasiyetine yakındır. Bu teknikte koloidal boya çeşitli şekillerde hazırlanabilir. Yaygın kullanılan Neuhoff ve ark. tarafından geliştirilen [28] CBB G250'nin kullanıldığı amonyum sülfat/fosforik asit çözücü sisteminin kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntem boya çıkarılma süreçlerinde pH bağımlı bir işlemdir ve 4 farklı çözelti kullanılır. Görüntüleme işlemi 2 günde tamamlanır. Hassasiyeti arttırmak için 3 kez tekrarlanması önerilir. Tarafımızca yapılan BTH (Benzathiadiazole) stresinde buğday da proteom farklılaşmasının tanımlandığı [11] çalışmada bu yöntem kullanılmıştır (Şekil 4). Yine tarafımızca yapılan ve henüz yayınlanma sürecinde olan arpada külleme hastalığında gerçekleştirilen proteomik çalışmada ve halihazırda yürütülen çalışmalarımızda da ise TCA içerisinde CBB R250 boyasının çözülerek hazırlanmış koloidal boyama tekniklerini kullanılmaktadır.



Şekil 4. BTH stresine maruz bırakılmış buğday proteom çalışmasında kontrol bitkilerine ait II. boyut jel görüntüsü [11].

Kolloidal Coomassie Blue Yönteminin hassasiyeti yine gümüş boyama kadar iyi olan bir boyama tekniğidir, MS analizleri ile uyumludur ayrıca fosforik asit içermediğinden fosforilasyon modifikasyonları zenginleştirme yapılmamış örneklerde bile kullanılabilir. Fakat fosforik asit içeren CBB boyamalarında bulunan fosforilasyon modifikasyonları boyadan kaynaklanabileceğinden sonuca daha dikkatli yaklaşılmalı ve muhakkak valide edilmelidir. Boyama ve boya giderme işlemlerinden sonra jellerin dijital ortama aktarılması yani jel spot analizi yapılmalıdır.

Jel Spot Analizi

İki boyutlu jeller ayrıştırılan proteinlere ait spotların dijital ortama aktarılmasında yüksek çözünürlüklü özel jel tarayıcılar kullanılmalıdır. Bu tarayıcılar Biorad, GE Healthcare, SynGene gibi firmalardan temin edilebilir. Piyasada başka tarayıcılara ulaşılabilirse de isimlerini saydıklarımız en güvenilir alanda en çok kullanımı tercih edilenlerdir. Ayrıca jel spot analizlerinin (image analysis) gerçekleştirebileceği 2D-PAGE analizine spesifik yazılımların kullanılması özellikle karşılaştırılmalı proteomik çalışmalarda önemlidir. Bununla birlikte proteom haritalarının çıkarılmasında da gereklidir. Çünkü biyolojik örneklerle çalışılırken mutlaka en az 3 biyolojik tekrarın ve her biyolojik tekrar için de 3 analitik tekrarın yapılması gerekir. Analitik tekrarın yapılma nedeni deneysel (pipetleme, kimyasal malzeme de değişiklik gibi) süreçte meydana gelebilecek hata veya varyasyonları bertaraf etmek iken, biyolojik tekrarlar ise canlının kendisinden kaynaklanan varyasyonları göz önünde bulundurabilmek için gereklidir. Jel spot analizi için Delta 2D (Decodon), PDQuest (Biorad), imagemaster 2D platinum, Melani (GE healthcare) ve Dymension 2 (Syngene) yazılımları yaygın kullanılan ve güvenilir yazılımlardır. Bu yazılımlar arasında Delta 2D, Melanie, PDQuest ve Dymension 2 yazılımları tarafımızca kullanılmış olup en kullanıcı dostu ve anlaşılması kolay olanın Delta 2D olduğu gözlenmiştir. Aynı derecede rahat kullanılanlardan bir diğer yazılım ise Dymension yazılımıdır.

Dolayısı ile eğer tasarlanan deney, A kimyasal/maddesi/organizması ile muamele edilmiş bir bitki örneğinin kontrol bitkisi ile karşılaştırmasına dayanıyor ve deney 3 biyolojik tekrarlı olarak yapılıyor ise çalışma sonunda değerlendirmeye alınan kontrole ait 9 jel ve muamele edilmiş bitkiye ait 9 jel olacaktır. Bu durumda;

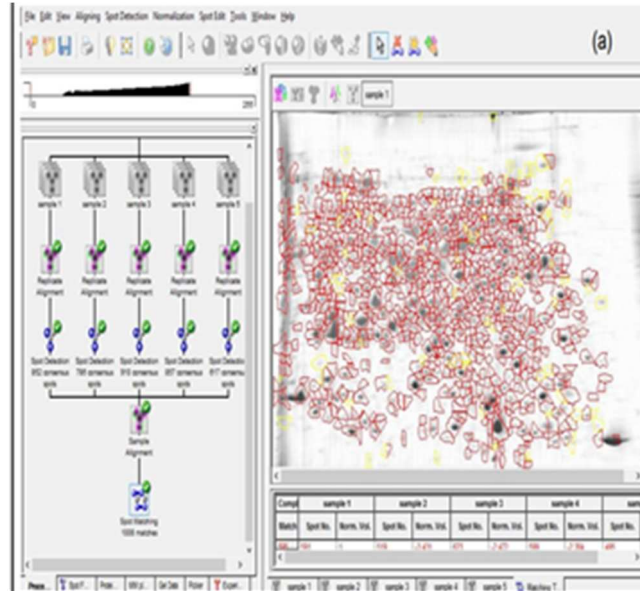
1. Jel görüntülerinin tarayıcı yardımı ile dijitalize edilmesini takiben önce kontrol jelleri sisteme yüklenir sonra muamele edilmiş örneklere ait jeller sisteme yüklenir veya tersi.

2. Yükleme işlemi bittikten sonra normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem çok önemlidir çünkü boyanma dolayısı ile jel arka planlarının eşitlenmesi gerekir aksi takdirde spotların % hacimleri veya yoğunlukları her bir jelde farklılık taşıyacaktır dolayısı ile de kantitatif bir çalışma ve sonuç elde edilemeyecektir.

3. Normalizasyon işleminden sonra kontrol ve muamele edilmiş test grubundaki ortak spot sayısı program tarafından ayrı ayrı sayılır. Jeller birbirleri ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda, programda spot yoğunluğunu mu yoksa hacminin mi baz alınarak analiz yapılacağı belirtilmesi için sonuçlar % hacim veya spot yoğunluğu olarak verilir. Yazılımlar çeşitli istatistik programlar içermekle birlikte araştırmacının, amacına uygun istatistiksel analizleri kendisinin yapması önerilir.

Görüntüleme işlemleri sonrasında, jel görüntülerinde jel ve spot analizlerine ait bir örnek Şekil 5’de sunulmuştur.

Kullanılan proteomik yaklaşıma göre değişmekle birlikte genel olarak karşılaştırmalı proteomik çalışmalarda, en az 1,5 kat ekspresyon artış/azalışı eşik değer olarak kabul edilmektedir, bu değer ve üstü anlamlı olarak kabul edilmektedir.



Şekil 5. Beş Biyolojik tekrar kullanılarak gerçekleştirilmiş bir çalışmamızın (Arpada ağ benek leke hastalığı etmeni proteom haritalaması) imaj analizi (şekilden de anlaşılacağı üzere her bir biyolojik tekrar için 3 analitik tekrar yapılmıştır, kullanılan imaj analiz sistemi Syngene firmasının dir 2D-PAGE analiz yazılımı ise yine aynı firmaya ait olan Dymension 2 yazılımıdır).

B.Jelsiz Yaklaşımlar:

Bir proteomun ayrılmasında 2D-PAGE yönteminin kullanımında, kısıtlı çözünürlük, hidrofobik proteinlerin kaybı ve düşük tekrarlanabilirlik en önemli sorunlardandır. Oysa bir proteomda bulunan proteinlerin önemli bir kısmı hidrofobiktir. Bu nedenle bir hücredeki genlerin anlatımını doğru biçimde ortaya koymak için bu proteinlerin analizlerine ihtiyaç vardır ve çok daha güçlü analitik tekniklere gereksinim olduğu ortaya çıkmıştır. Jelsiz yaklaşımlar arasında son yıllarda tüm örnek tipleri için Shotgun proteomik yaklaşımların kullanımı artmıştır. Diğer taraftan 2D-PAGE tekniğinin tüm proteomik laboratuvarlarında yaygın olarak kullanıldığı dönemlerde tanımlanabilen protein profilini genişletmek ve hassasiyeti arttırmak amacı ile dolayısıyla 2D-PAGE tekniğine alternatif olarak geliştirilen iki boyutlu sıvı kromatografi (2D-LC, two dimensional liquid chromatography) teknikleri bu proteinlerin de analizine olanak verecek nitelikte tasarlanmıştır. Sıvı kromatografinin proteomiğe yaklaşım amacı protein karışımlarını yüksek çözünürlükte fraksiyonlara ayırarak sanal jel haritalarında görüntülemek ve protein miktar farklılıklarını ortaya koymaktır, sanal jel haritaları Şekil 6’da sunulmuştur. [29].

“Yüksek performanslı sıvı kromatografisi” (HPLC), hassas ayırma sağlamak üzere kısa difüzyon yoluna ve hızlandırılmış hareketli faza sahiptir. İlk modern HPLC cihazı 1965 yılında Yale Üniversitesi’nde Csaba Horvath tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde zamanla apolar sabit fazların ve polar hareketli fazların kullanıldığı ters faz kromatografisi ön plana çıkmıştır. Horvath ters faz kromatografisi teorisini ortaya koyarken Kirkland silika partiküllerine uzun zincirli hidrokarbon ve diğer bir grup organik molekülleri kovalent bağ ile bağlayarak bağlı sabit fazların gelişimine öncülük etmiştir.

Bugün HPLC tekniği en çok kullanılan analitik tekniklerindedir. Son yıllarda yeni nesil teknolojiler arasında yerini alan ve HPLC tekniğinin fraksiyonlama sistemi ile kombine edilmesi ile oluşturulmuş 2D-LC sistemi proteomik çalışmalar için yüksek çözünürlükte protein ayırma sağlamak üzere geliştirilmiştir. 2D-LC ayırma tekniğinde, proteinler birinci boyutta “chromatofocusing”(CF) ile pI noktalarına göre, ikinci boyutta ise yüksek performans ters faz kromatografisi (high performance reversed phase column, HPRP) ile hidrofobite özelliklerine göre ayrıştırılarak fraksiyonlanmaktadır. Sistemin bir diğer önemli özelliği 2D-LC fraksiyonlarında ayrılan proteinlerin tespiti ve örnekler arasındaki farklılıkların belirlenmesi için gelişmiş bilgisayar programlarının da sisteme dahil edilmesidir. Proteom analizleri için tasarlanan bu sistemin diğer bir avantajı da ham protein özütlelerinin birkaç adımda saflaştırıldıktan sonra analiz edilmesidir. Böylece protein profillerinin karşılaştırılması sonucu elde edilen verilerin, 2D-PAGE yöntemine oranla daha tekrarlanabilir ve güvenilir olmasını sağlar. Başka bir deyişle iki boyutlu jel sistemlerinin yerine 2D-LC tekniklerinin kullanımı çok sayıda total protein örneğinin daha hızlı, güvenilir ve güçlü biçimde ayırma imkân sağlar. Sistemin bir diğer önemli özelliği ise bir hücre/organizmaya ait proteomun önemli bir kısmını oluşturan hidrofobik yapıdaki ve pek çoğu da düzenleyici protein olan düşük anlatımlı proteinlerin, suda çözünmediği için 2D-PAGE de kaybolmasına karşın 2D-LC yöntemi ile ayırmanın gerçekleştirilebilmesidir [30].

Bu derleme kapsamında yöntemsel ayrıntılar, tarafımızca kullanılan ve bir 2D-LC olan “ProteomeLab PF2D sistemi” (Protein fractionation two dimensional, Beckman Coulter, ABD) ‘ne dayalı olarak anlatılacaktır.

1)Yöntem:

Total Protein Örneklerinin Hazırlanması

Bitkinin özellikle yeşil aksamaları ile yapılacak proteomik çalışmalarda RuBisCo proteinini uzaklaştıran Mg/NP40 yöntemi etkin biçimde kullanılmaktadır [32]. Bu yöntemde PEG (Polietilen glikol) 4000’in %15’lik konsantrasyonu ile RuBisCo proteinleri çöktürülerek büyük oranda elimine edilmektedir. “1.1 ve 1.2” başlıkları altında anlatılan diğer total protein izolasyon yöntemlerini de kullanmak mümkündür. Ancak son aşama da proteinlerin çözündürülmesi için kullanılan IEF çözeltisi yerine aşağıda detayları verilen ve PF2D sistemine uygun “Çözündürme Solüsyonu” nun kullanımı zorunludur. Mg/NP40 yönteminin detayları ve kullanılan çözümler şöyledir;

PVPP (Polivinil polipirrolidon) ; 0,1g PVPP (1g doku için)

Liziz Tamponu; 0.5M TrisHCl pH 8,3 (Roche 122010), % 2 Igepal (NP40) (Sigma I7771), 20mM MgCl₂ (Sigma M8266), % 2 Beta-Merkaptoetanol, (Appllichem A1108), 1mM Fenil metil sülfonil florür (PMSF) (Sigma P7626) olacak şekilde tüm bileşenler tartılıp tek tek 50mL çift distile suda çözündürüldü ve son hacmi 100mL ye tamamlanır.

%50 PEG4000 ; 50g PEG4000 (Sigma 95904) 100mL çift distile suda çözündürülür.

Proteaz İnhibitör Karışımı (Sigma P9599); 1mL çift distile suda çözündürülür. 1g doku için 50µL kullanıldı.

Çözündürme Solüsyonu; 7,5M Üre (Sigma U0631), 2,5M Tiyüüre (Sigma T7875), %12,5 Gliserol (Sigma 6279), 62,5mM Tris.HCl pH 7,8, 6,25mM Tris (2 karboksietil fosfin) (TCEP) (Sigma C4706), %12,5 Oktil Beta –D- glukopironosid (OG) (Sigma 08001).

Bu yöntem ile 1g yaprak dokusu 0.1g PVPP ilave edilerek, soğuk havanda sıvı azot kullanılarak iyice toz haline gelene kadar parçalanır. Toz haline getirilmiş olan yaprak dokularının üzerine 10mL liziz tamponu ilave edilir ve 10-20 dakika buzda bekletilir. Daha sonra 3000rpm de +4°C de 15 dakika santirfüj edilerek protein olmayan hücre artıklarının çökmesi sağlanır ve üst faz yeni tüpe alınır. Üzerine son konsantrasyonu %15 olacak şekilde %50'lik PEG4000 den ilave edilir ve 30 dakika buzda bekletilir. Bu süreçte 10 dakika aralıklarla kısa kısa vortekslenir. Süre sonunda 12.000 rpm de +4°C de 15 dakika santirfüj edilerek RuBisCo proteinlerinin çökmesi sağlanır. Üst kısım yeni tüpe alınır ve üzerine proteinlerin çökmesi için 4 hacim soğuk aseton ilave edilerek -20°C de gece boyu bırakılır. Ertesi gün 14.000rpm de +4°C de 10 dakika santrifüj edilir ve üst sıvı atılır. Protein çökeltisi pigmentlerden temizlenmek üzere 5-6 kez soğuk aseton ile yıkanır. Bunun için pellet üzerine 10mL soğuk aseton ilave edilip vortekslenir ve en az 1 saat -20°C de bırakıldıktan sonra 6000 rpm'de +4°C de 10 dakika santrifüjlenerek üst sıvı atılır. Bu işlem üst sıvı renksizleşene kadar devam ettirilir. Son yıkamadan sonra protein çökeltisi aseton kokusu gidene kadar oda sıcaklığında kurutulur. Pellet kuruduktan sonra 2mL çözündürme solüsyonu ve 50µL proteaz inhibitör karışımı ilave edilerek çözündürülür. Çözünmeyi arttırmak üzere 7W da 5 kez 5 saniye sonikasyon uygulanır. Daha sonra 30.000xg de 30 dakika ardından da 100.000xg de 1 saat santrifüj edilerek protein olmayan moleküller uzaklaştırılır. İzole edilen proteinlerin Bradford yöntemiyle miktar tayini yapılır ve daha sonra 2 boyutlu ayırım yapıncaya kadar -80°C de muhafaza edilir.

Proteinlerin İki Boyutlu Ayırımı

İzole edilen proteinlerin iki boyutlu ayırımına ilişkin yöntemler ve detayları tarafımızca kullanılan 2D-LC sistemi (PF2D, Beckman Coulter)'ne uygun olarak anlatılmıştır. Ancak farklı cihazlarda farklı detaylar gerekmele birlikte temel prensip itibariyle benzer adımlar kullanılmaktadır. Proteinlerin 2 boyutlu ayırımına başlanmadan önce sistemin düzgün biçimde çalışabilmesi için gerekli olan hazırlık aşamaları üretici firmanın önerdiği biçimde gerçekleştirilmelidir.

PF2D sistemi, proteinlerin farklı özelliklerini temel alarak ayırım yapan iki modülden oluşmaktadır; I. Boyut ayırım modülü, proteinleri izoelektrik noktalarına (pI) göre ayıran "High Performance Chromatofocusing Fractionation" (HPCF) kolonu taşır. Bu modüde pH gradyenti (8.5-4.0) oluşturularak proteinler pI noktalarına göre ayrılmaktadır.

Birinci Boyut Ayırımı:

Kullanılan solüsyonlar;

Başlangıç Tamponu (BT): 6M üre, 25mM Bis-Tris (Sigma 14879) ve %0,2 OG, ultra saf suda çözülür (pH 8,5, pH amonyum hidroksit ile ayarlanır).

Elüsyon Tamponu (ET): 6M Üre, %10-12,5 v/v Polybuffer ve %0,2 OG ultra saf suda çözündürülür (pH ayarı iminodiasetik asit ile yapılır ve 4,0 'e ayarlanır).

Yüksek iyonik kuvvetli solüsyon (HISS): 1M NaCl (ultra saf suda çözündürülür).

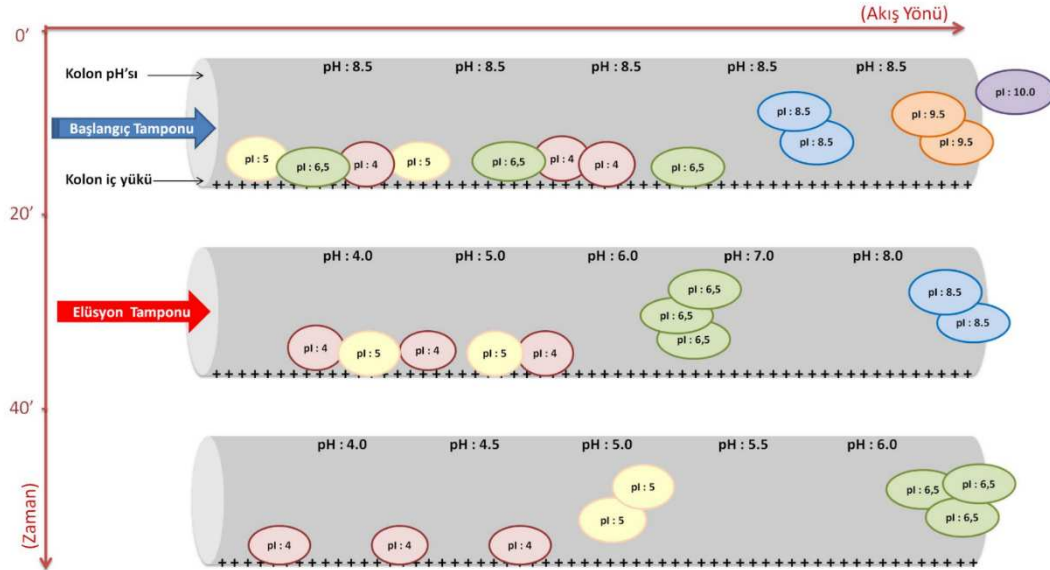
HPLC'ye uygun su

Proteinlerin 1. boyut ayırımında, sağlıklı bir pH gradyentinin oluşturulması son derece önemli olduğundan, pH gradyent tamponları olan BT ve ET'lerin hazırlanmasına büyük özen gösterilmelidir ve karşılaştırma yapılacak örnekler için aynı BT ve ET tamponlar kullanılmalıdır.

İzole edilen proteinlerin PF2D sistemine yüklenmeden önce sistemle uyumlu olan BT içine alınması ve tuzlardan temizlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla -80°C de muhafaza edilen örnekler oda sıcaklığına getirildikten sonra PD-10 (GE Healthcare, W396289) kolondan geçirilir. PD-10 kolonun alt ucu kesilerek açılır ve kolondan 25mL BT geçirilerek dengelenir. Daha sonra oda sıcaklığına getirilen örneklerin hacmi aynı buffer ile 2,5mL ye tamamlanıp kolona yüklenir. Örnek tamamen kolondan geçtikten sonra 3,5mL BT kolona ilave edilir ve temiz bir tüpte toplam 3,5mL BT içinde geri kazanılan örneklerdeki protein miktarı bikinonik asit (BCA), (Sigma) analizi ile belirlenir.

PF2D sisteminin gerekli tüm hazırlıkları tamamlandıktan sonra, PD-10 kolondan geçirilen ve konsantrasyonu belirlenen protein örneklerinden yaklaşık olarak 2-3mg örnek sistemin I. boyutuna yüklenir. Yükleme işlemi üretici firma talimatları uygulanarak gerçekleştirilir. Karşılaştırma yapılacak örnekler için eşit miktarda protein yüklenmesine özen gösterilmeli ve örnek yükleme aşamasında sisteme hava kabarcığının verilmemesine dikkat edilmelidir. Yükleme işlemi bittikten sonra cihaz, I. boyut analizine başlar ve sisteme yüklenen total protein karışımındaki her bir proteini "chromatofocusing" (CF) kolonundan geçerken izoelektrik noktasına (pI) göre ayırır. Bu aşamada izoelektrik noktasına göre ayırmanın sağlanabilmesi için kolon içinde 8,5 pH dan başlayarak 4,0'e doğru azalan bir pH gradyenti oluşturulmaktadır. Bu süreçte kolondan geçen proteinler kendi izoelektrik noktaları ve kolon içindeki pH değerine göre kolondan itilmekte veya alıkonmaktadır. Başka bir deyişle kolondan geçen proteinlerin ayrımı pI değerlerinin kolon içi pH'sına göre yüksek, düşük veya aynı değerde oluşuna göre gerçekleşmektedir. Ayrırma prensibi Şekil 6 de şematize edilmiştir. Protein örneği, sisteme yüklendikten sonra ilk 20-40 dakika kolondan sadece BT (pH 8,5) geçişi gerçekleşmekte, bu süreçte pI sı 8,5'dan büyük olan bazik proteinler kolondan itilerek zamana bağlı olarak fraksiyonlanmaktadır. Süre sonunda sistem yavaş yavaş pH değeri 4,0 olan ET akışını başlatmaktadır. Böylece metot da belirtilen süreye bağlı olarak I. boyut kolonunun iç pH sı, 8,5 dan 4,0 e kadar yavaş yavaş düşürülmektedir. Gradyent sırasında proteinin pI değeri kolon içi pH sından yüksek ise kolondan atılmakta, aynı değere sahip ise kolonda asılı kalmakta ve eğer düşükse kolon iç yüzeyinde tutuklanmaktadır (Şekil 6).

Kolondan çıkan her proteinin 280nm deki absorbans değeri bir dedektörle ölçülür ve her 0,3 pH aralıkta yer alan proteinler 96 kuyulu mikropalakalara otomatik olarak fraksiyonlanır. 280nm de proteinlerin absorbans değerleri sistemin yazılımı tarafından proteinlerin varlığı ve miktarını gösteren I. boyut kromatograma dönüştürülür. BT geçişi durup tamamen ET geçişi gerçekleştiğinde ise kolon içi pH sı 4,0'e indirilmiş olur. Sadece ET geçişinin olduğu son 20 dakika boyunca da zamana bağlı olarak asidik proteinlerin ayrımı gerçekleştirilmektedir. pH gradyenti tamamlandıktan sonra HISS solüsyonu ile kolon yıkanır.

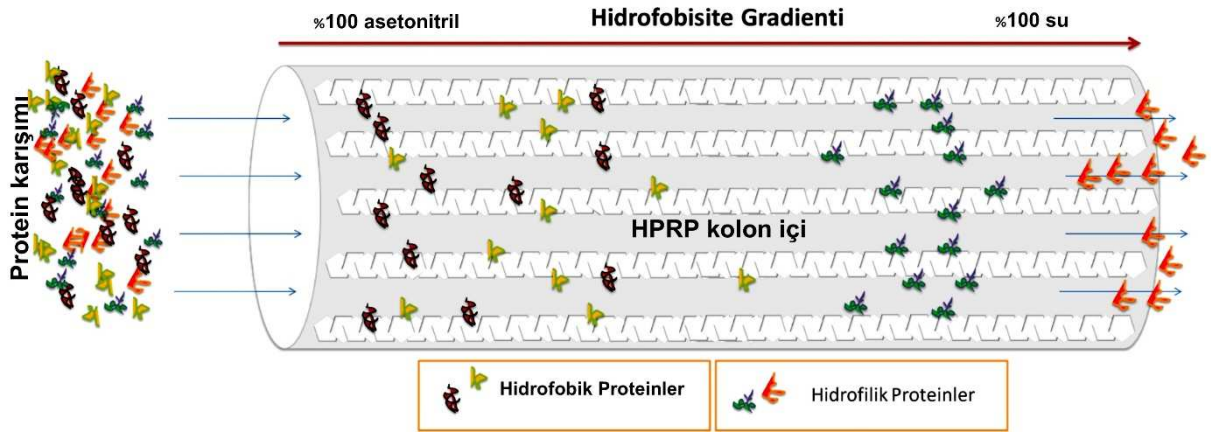


Şekil 6. Birinci boyut kolonda proteinlerin pI noktalarına göre ayrımı (Proteinlerin pI değeri 1) kolon içi pH sından düşükse, proteinler kolon iç yüzeyinde tutuklanmaktadır, 2) kolon içi pH sı ile aynı değere sahip ise proteinler kolonda asılı kalmakta, 3) kolon içi pH sından yüksek ise proteinler kolondan atılmaktadır)

İkinci Boyut Ayrım:

Sistemin 2. modülünde proteinler hidrofobisitelerine göre ayrılmaktadır. Bu nedenle oluşturulacak hidrofobisite gradyenti için su ve asetonitril kullanılmaktadır. Bu solüsyonlara iyon baskılayıcı ajan olarak trifloroasetik asit (TFA) ilave edilir.

Birinci boyut kromatogram incelenerek II. Boyut ayrımı uygun görülen fraksiyonlar belirlenir. Sistemin yazılımı kullanılarak bu fraksiyonların II. Boyut ayrımı için komut verilir. Sistem tarafından 96 kuyulu mikroplakalarda toplanan bu fraksiyonların her birinden 200µL 2. boyut ayrım için otomatik olarak HPRP modülüne transfer edilir. Kolon sıcaklığı 50°C'de tutulur Her bir fraksiyonda yer alan proteinler, hidrofobisite özellikleri temel alınarak HPRP kolonunda H₂O ve asetonitril ile oluşturulan hidrofobisite gradyenti sayesinde ayrılmaktadır (Şekil 7). Bunun için, başlangıçta kolondan %100 H₂O (%0,1 TFA ilaveli) geçişi ile hidrofilik proteinlerin ayrımı gerçekleştirilmekte, ardından asetonitril (%0,08 TFA ilaveli) geçişi ile kolon içinde %100 asetonitrile doğru bir gradyent akışı sağlanmaktadır. Böylece kolon içinde polardan apolara doğru bir ortam sağlanmakta ve hidrofobisitesi en düşük olan proteinlerden başlanarak gradyent boyunca hidrofobisitesi artan proteinlerin ayrımı gerçekleştirilmektedir. Kolondan ayrılan proteinler zamana bağlı olarak (0,75mL/0,5dk) 2. boyut fraksiyon toplayıcıda 96 kuyulu mikroplakalara fraksiyonlanmaktadır. Son olarak da %100 asetonitril geçişiyle hidrofobisitesi en yüksek olan proteinlerin ayrımı yapılmakta ve 2. boyut ayrım tamamlanmaktadır.

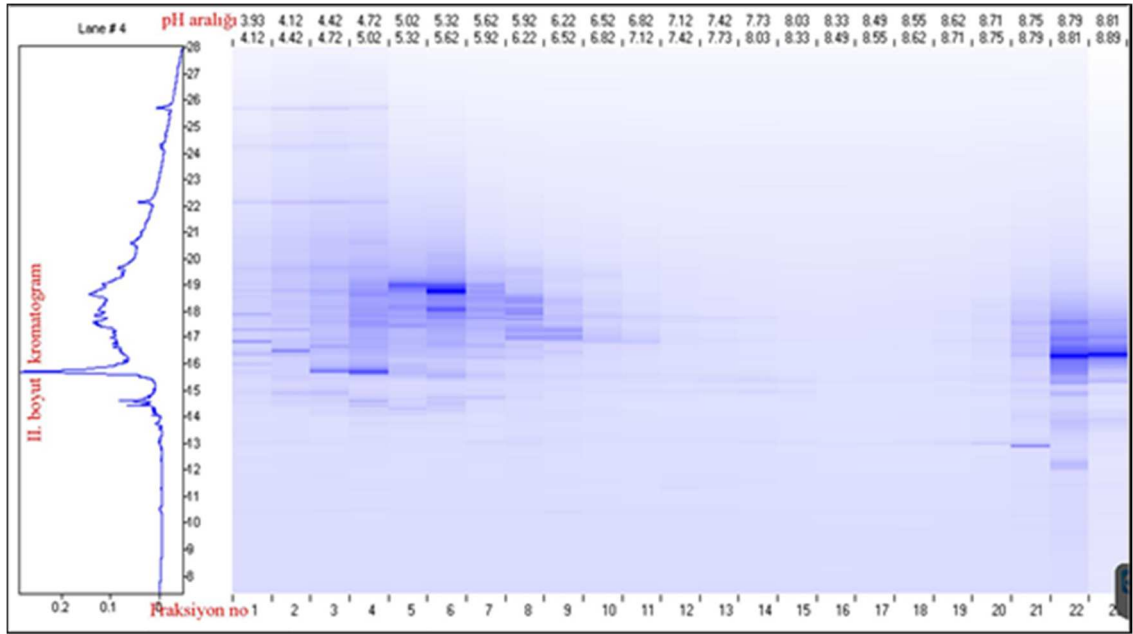


Şekil 7. İkinci boyut kolonda proteinlerin hidrofobisitesine göre ayrımı

Bu modüle bulunan bir dedektör, proteinlerin peptid bağlarının 214nm dalga boyundaki absorbansını ölçerek daha hassas bir protein tespiti sağlamaktadır. Böylece elde edilen UV piklerinin her biri tek bir proteini temsil etmekte ve her fraksiyon için bu piklerden oluşan "II. boyut kromatogramı" oluşturulmaktadır. Bu süreç I. boyutta ayrılan ve II. boyuta transfer edilen her fraksiyon için tekrarlanmaktadır. Analizler süresince bilgisayar yazılımı üzerinden örneklerin birinci ve ikinci boyut kromatogramları kontrol edilebilmektedir.

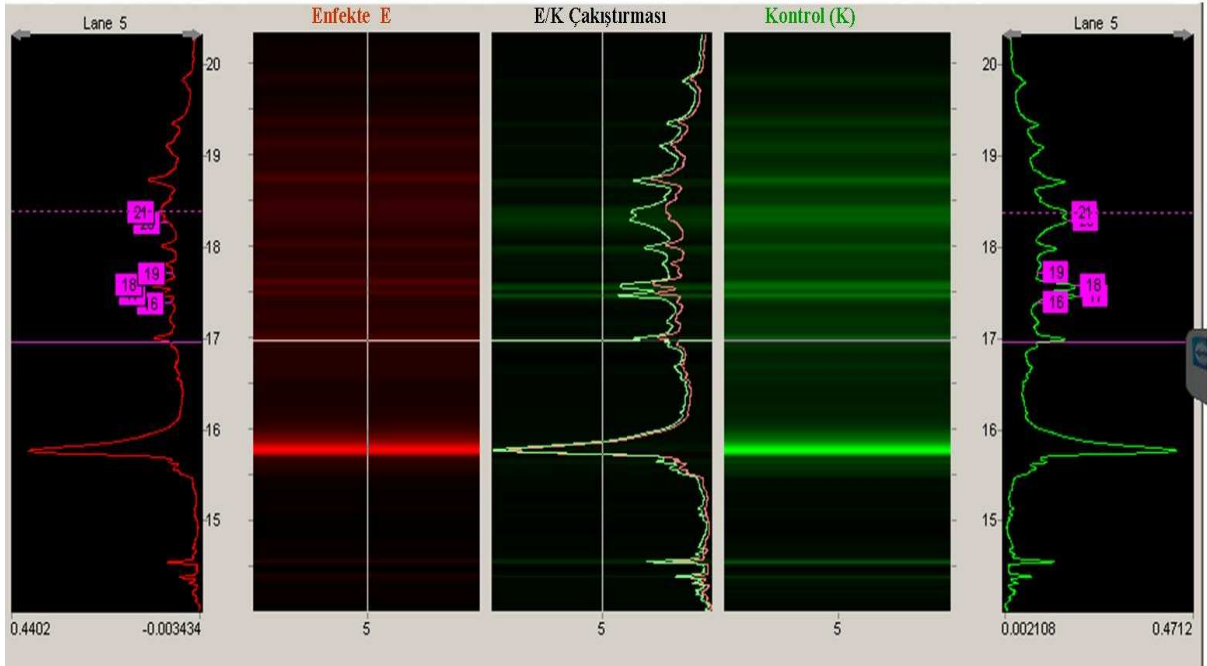
Jel Haritalarının Oluşturulması ve Karşılaştırma

PF2D sisteminde iki boyutlu ayrım tamamlandıktan sonra elde edilen veriler sisteme özgü olarak geliştirilen ProteoVue yazılımı ile işlenerek sanal jel haritalarına dönüştürülür. Bunun için bir örneğin I. boyut ayrımında toplanan fraksiyonların pH aralık değerleri ve bu fraksiyonlardan her birinin II. boyut ayrımı sırasında elde edilen UV-2 kromatogramları birebir eşleştirilir. Bu şekilde bir örneğe ait, tüm fraksiyonların protein profili sanal jel haritalarında düzenlenerek iki boyutlu jel görüntüsü biçiminde elde edilmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. 2D-LC sistemi ile ayrımı yapılmış proteinlerin 2 boyutlu sanal jel haritası

Kontrol ve uygulama yapılmış (test) örneklerin protein profillerinin karşılaştırılmasında ise yine PF2D sistemine özgün olarak geliştirilmiş olan yazılım (DeltaVue) programı kullanılmaktadır. Bunun için karşılaştırılmak istenen 2 örneğe ait sanal jel haritaları eş zamanlı olarak DeltaVue programında kontrol örnek sağda, test örneği solda (veya tersi) olacak şekilde açılır. Her örneğe ait haritada hem kromatogram hem de sanal jel görüntüsü birlikte izlenebilmektedir. Ortada ise iki örneğin karşılaştırılan fraksiyonlarında yer alan protein profilleri üst üste çakıştırılarak incelenebilmektedir. Daha detaylı karşılaştırma yapabilmek için her iki örneğin aynı pH aralığına sahip fraksiyonlarındaki protein bantları birebir karşılaştırılmalıdır ve II. boyut kromatogramlarında yer alan her bir protein piki birebir eşleştirilip numaralandırılır. Numaralanan her pik için pikin yükseklik ve genişliği baz alınarak alan hesabı yapıp ekspresyon miktarı belirlenebilmektedir. Seçilerek numaralanan her pik için pH aralığı, miktarı, eşleştirildiği proteine göre miktarsal oranına dair detaylı bilgiler elde edilir. Sonuç olarak karşılaştırılan kontrol ve testlere ait tek tek tüm fraksiyonlar ve her fraksiyondaki tek tek tüm proteinler karşılaştırılmalı olarak değerlendirilir. Böylelikle anlatım düzeyi farklı olan protein pikleri kolayca gözlemlenebilir (Şekil 9). Daha sonra da anlatım farkları oranı ≥ 2 olan proteinler, biyolojik tekrarları ile istatistiksel olarak değerlendirmeye tabii tutulur. İstatistik değerlendirmesi $p < 0.05$ olan proteinler ve eşleniği olan proteinlerin yer aldığı fraksiyonlar kütle spektrometresinde (MS) analiz edilmek üzere seçilir. Seçilen fraksiyonlar 1.5mL'lik LowBind tüplere alınıp vakumlu konsantratörde kurutulur. Kurutulan proteinler 10 μ L 50mM amonyum bikarbonat (NH₄HCO₃) içerisinde çözündürülüp tripsinle kesim için hazır hale getirilir. Seçilen fraksiyonlarda bazen birden fazla protein bulunabilmektedir. Bu durumda bu fraksiyonda yer alan proteinler %12'lik SDS-PAGE jeli ile III. boyut ayırma tabii tutulur. Daha sonra istenen proteine ait bantlar jelden kesilerek tripsinizasyon uygulanır.



Şekil 9. PF2D sistemi ile ayrılan, kontrol ve enfekte bitkilere ait protein profillerinin karşılaştırılması (numaralı pikler ekspresyon farkı gözlenen proteinleri temsil etmektedir) [31].

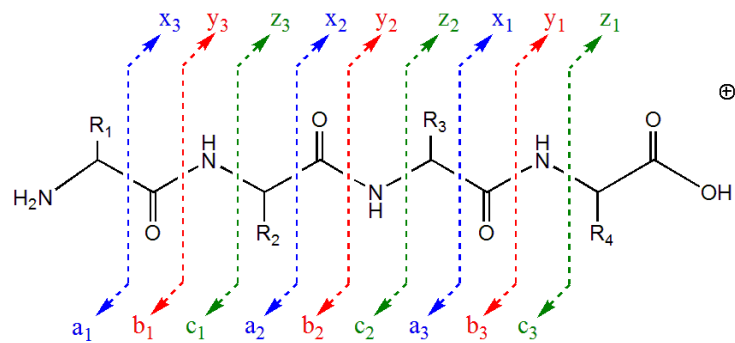
III. KÜTLE SPEKTROMETRESİ İLE PROTEİN TAYİNİ

Proteomik alanı ilk adımlarını jele dayalı yöntemlerle atmış olsa da tarihsel süreçte sıvı kromatografisine dayalı jelsiz yöntemler daha tercih edilir hale gelmiştir. Aslında jele dayalı ve jelsiz yöntemlerin her ikisi de tümevarımsal proteomik (bottom-up proteomics) kapsamında yer alır ki bu tanım bize protein tayininin, kısa protein parçaları olan peptitler üzerinden yapıldığını ifade etmektedir. Proteinden peptit elde etmek için de proteindeki amino asit zincirinin belirli noktalarından kesimler yapmak suretiyle onu küçük parçalara ayıran enzimler kullanılır. Tripsin, hem uygun kütle tayin aralığı bakımından hem de spesifik kesim yaptığı amino asitlerin pozitif yük avantajından ötürü kütle spektrometresi cihazlarında oldukça elverişli bir ortam sağladığı için sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yönelim öyle bir boyut kazanmıştır ki günümüzde tripsin enzimi ile muamele adımı proteomik çalışmalarda standart bir uygulama olarak yer aldığı söylenebilir. İşte kütle spektrometresi ile protein tanımlaması, bu kısmi sekans analizine dayanır yani proteine ait bütün amino asit dizisinin bilinmesine gerek duyulmaz. Ancak belirli bir proteine ait peptitlerin tanımlaması ne kadar fazla olursa, o proteinin sekans kapsamı o kadar genişletilmiş olur ki bu da protein tanımlama güvenilirliğini artırır.

Kütle spektrometresi ile aynı anda binlerce protein, karışım halinde ve az miktarda üretilmişse bile analiz edilebilmektedir. Ancak cihaza verilmeden önce bu karışımlar yukarıda bahsi geçen jele dayalı veya jelsiz protein düzeyindeki ön ayrımlar ile daha az karmaşık fraksiyonlara indirgenebilir. Bu ön ayrımlara gerek duymayan ve proteinler tam karışım halindeyken doğruca tripsin parçalama işlemine tabi tutulan bir proteomik yaklaşımı da mevcuttur. Kaynağı olan proteinle bağı kopan ve daha da kompleks bir peptit havuzunun yaratıldığı bu yaklaşıma, genomikteki shotgun metoduna olan benzerlikten ötürü shotgun proteomik adı verilmiştir. Eğer geniş kapsamlı bir sonuç elde edilmek isteniyorsa, bu peptitler mümkün olan en iyi şekilde ayrılmış olarak kütle spektrometre cihazına gönderilmelidir. Bu peptit düzeyinde ön ayırma adımı, sıvı kromatografisinden fraksiyon eldesi, kesintisiz iki boyutlu sıvı kromatografisi (2D-LC), izoelektrik odaklama, çok daha uzun ve etkili kolon tasarımı veya iyon mobilite özellikli kütle spektrometresi kullanımı gibi laboratuvarın imkanları ve tercihleri dahilinde çeşitli şekillerde uygulanabilir. Çoğunlukla, fazla sayıdaki fraksiyonlar, uzun süren 2D-HPLC elüsyonu, daha dar ve uzun kolonlar gerekli optimizasyonlar da yapılmışsa ayırımı güçlendirerek çok daha fazla veri eldesine olanak sağlar.

Ne var ki kütle spektrometresi ile çok fazla veri elde edilmiş olması, elde edilen sonuçların kesin doğru olduğu anlamına gelmez çünkü kütle spektrometresi ile protein tayini birbirinden bağımsız en az üç farklı aşamada ilerler. Deneysel süreçlere dahil olan ilk iki aşamada proteinler hücreden ekstrakte edildikten sonra enzimle parçalanır ve parçalanma ürünlerinden; sinyal şiddetinin dikey ekseninde, kütle/yük oranının yatay ekseninde yer aldığı MS ve/veya MS/MS spektrumları elde edilir. Bu spektrumların eşleştirme yapan farklı programlar aracılığı ile veri tabanlarında da taratılması bilgisayar sistemlerinin dahil olduğu biyoinformatik alanının konusudur. Aslında kütle spektrometresi ile protein tayininde kesinlikten söz edilemez; zira veri tabanı taraması yapan her program sunduğu sonuçları belirli bir olasılık hesabı ile verir. Bu istatistiki hesaplardan güven aralığında olanlar doğru eşleşme yapmış varsayılır. Peptit parçalama spektrumlarını tarama motorları aracılığı ile uygun veri tabanında taratılması günümüz protein tanımlamasında standart bir uygulama haline gelmiş olsa da, ne yazık ki henüz bütün canlı türleri için veri tabanları oluşturulmuş değildir. Hali hazırda kullanılan veri tabanlarındaki protein dizilenmesine ait bilgiler ise, nükleotit dizilerinin bulunduğu kaynaklardan protein kodlamasında yer alanların *in silico* yani bilgisayar ortamında translasyon çevrimleriyle oluşturulur. Bu şekilde proteinler sadece fonksiyonları ile değil aynı zamanda onları meydana getiren gen bölgeleriyle de ilişkilendirilmiş olur. European Bioinformatics Institute (EMBL-EBI/Birleşik Krallık), Swiss Institute of Bioinformatics (SIB/İsviçre) ve Protein Information Resource (PIR-Amerika Birleşik Devletleri) arasındaki iş birliği ile kurulan UniProt [33] ve National Institute of Health'e (NIH/Amerika Birleşik Devletleri) bağlı NCBI [34] (National Center for Biotechnology Information), düzenli güncellenmeleri ve internet üzerinden halka açık kullanımları ile protein veri tabanları arasında en rağbet gören iki farklı kuruluştur.

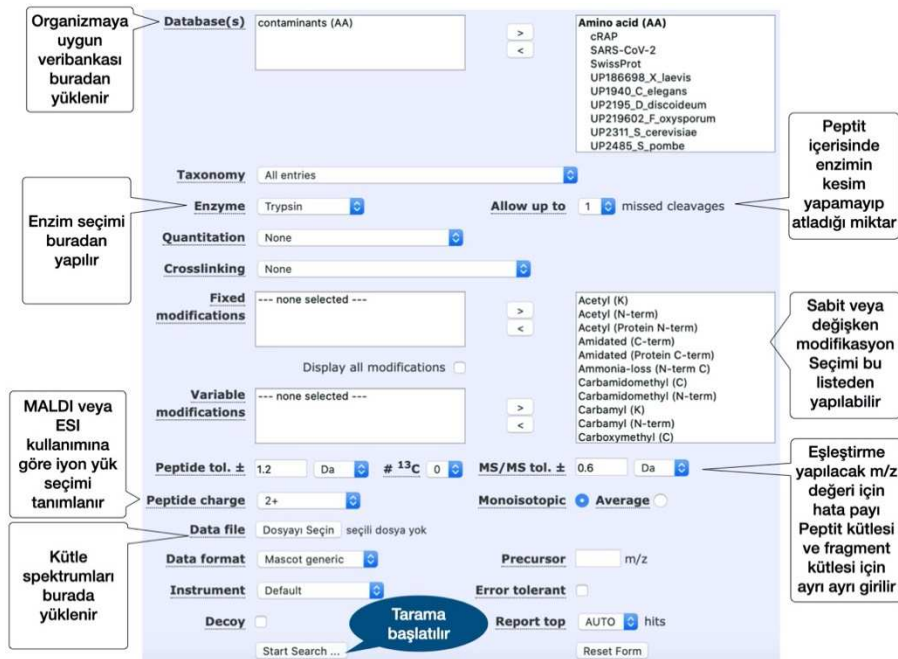
Veri tabanı taramasının kullanılmadığı diğer bir metot olan yeniden (*de novo*) sekanslama da ise sadece MS/MS spektrumunda yer alan parçalanma ürünlerinin kütlelerine ait bilgilerden peptidin sekansı elde edilmeye çalışılır. Ancak bu uygulama hayli zordur ve pratik sayılmaz dolayısıyla çok sık kullanılmaz zira MS/MS spektrumundaki parçalanmaya ait bilgiler çoğu zaman eksik olmakla birlikte gaz fazındaki çarpışmalarda meydana gelmiş çeşitli farklanmalar nedeniyle, kütle spektrumu beklenildiğinden daha karmaşık olabilmektedir. Parçalamayı gerçekleştiren çarpışmalı aktivasyon esnasında, yüksek enerji verilmesi, protonlanmış iyon halindeki peptidin omurgasında yer alan bağların çeşitli bölgelerden kırılmasına neden olmaktadır. Peptit parçalanmaları genelde pozitif modda çalışılır bu sebeple protonlanma herhangi bir amid bağındaki amino grubunda olabileceği gibi bazik amino asitlerin radikal gruplarındaki azot atomlarında da konumlanmış olabilmektedir. Peptit omurgasına ait bu bağlar üç çeşit olup alkil-karbonil bağı (CHR-CO), peptit amid bağı (CO-NH) ve amino-alkil bağının (NH-CHR) üçü de bu türden kopmalara açıktır. Şekilde 10'da çarpışmalı aktivasyon sonunda peptitlerin değişik bağlarının kırılması sonucunda oluşan ve en yoğun gözlenen iyon türleri gösterilmektedir.



Şekil 10. Çarpışmalı aktivasyon sonunda peptitlerin değişik bağlarının kırılması sonucunda oluşan iyonlar

Bu kopmalar sonucunda yük, peptidin N- veya C- ucundan herhangi birinde yer alabilir. Dolayısıyla kopmanın gerçekleştiği bağa ve yükü taşıyan uca göre altı farklı tür iyon serisi oluşabilmektedir. Bu iyonlardan N-ucuna ait iyonlar, n amino asit sayısını belirtmek üzere sırasıyla a_n , b_n ve c_n olarak; C ucuna ait iyonlar ise benzer şekilde x_n , y_n ve z_n olarak tanımlanırlar [35]. Şekilde gösterilmeyen fakat bu kopmaların dışında, yukarıda belirtilmiş olan a, b veya y olarak iyon türlerinden su kopmasıyla oluşan iyon türleri literatürde a° , b° , y° ve amonyak kopmasıyla a^* , b^* , y^* olarak kütle spektrumlarında gösterilirler. Ayrıca, yüksek enerjili parçalanma

uygulamaları sonucunda, radikal gruplarındaki kopmalarla oluşan d, v, w iyonları (şekilde gösterilmemektedir) da gözlenmektedir. Bu farklı türden iyon serilerinin varlığı sekansı tayin etmeyi sağlayan bilgiyi taşıyıcılar da bilgisayar kullanımını zorunlu kılan karmaşık spektrumların elde edilmesine neden olmaktadır. Bilindiği üzere, bu iyonlar spektrumlarında eşit sinyal şiddetiyle yansımaz, hatta hiç oluşmadığı da gözlenebilir. Peptidi oluşturan amino asit sekansları, peptit uzunluğu, asidik veya bazik amino asitlerin azlığı veya çokluğu, özellikle amino asidin yan zincirlerinde bulunan fonksiyonel gruplar, parçalanma sonrası oluşan iyonların oluşum mekanizmalarını, iyon türlerini ve iyon şiddetini önemli derecede etkilerler. Daha önce bahsedilen veri tabanı taramasının prensibi deneysel sonuçların bilgisayarda oluşturulan idealize spektrumlarla karşılaştırılması prensibine dayanır. Yani parçalanmış bir peptide ait olası tüm iyonları eşit şiddette içeren MS/MS spektrumları *in-silico* adı verilen yöntemle bilgisayarda oluşturulur ve deneysel elde edilen spektrumlar ile karşılaştırılır. Programı başlatmadan önce taramaya dair parametreler sisteme tanımlandığında eşleşme imkânı artırılarak tarama işlemi hızlandırılmış olunur. Bu parametreler arasında seçimi yapılanlar veri tabanı, organizma türü, proteinden peptit eldesinde kullanılan enzim, analiz yapıldığı kütle spektrometresi tipi ve peptidde bulunabilecek modifikasyonlardır. Bunun dışında iyon yükü, enzimin kesimi iskaladığı (tripsin enzimi, R veya K aminoasitlerinin karboksil ucundan keser) bölge sayısı ve kütle toleransı, yani sinyalleri değerlendirirken tanınan esneklik değeri, belirtilmesi gerekir. Parametrelerdeki değişiklikler tarama sonucunu etkilediği için mümkün olduğunca en uygun seçimler yapılarak işlem başlatılmalıdır. Yüksek kapasite ve işlem gücüne sahip bilgisayarların yaygınlaşıp daha geniş ortamlarda yer alması ile biyoinformatik alanında üretilen yazılımlar epey çeşitlik kazanmış olsa da piyasada uzun süredir yer alan programlar diğer çevreler tarafından sıklıkla kullanılması sebebiyle biriken bilginde vermiş olduğu güvenle daha çok kabul görmektedir. Bunlar arasında The Scripps Research Institute tarafından geliştirilen SEQUEST [36] ve Matrix Science firmasının ürünü MASCOT [37] en eski ve en popüler programlar arasında yer alır. Şekil 11'de Mascot arama motoru ile gerçekleştirilecek olan veritabanı taraması sırasında girilmesi gereken parametrelere ait ekran görüntüsü verilmiştir.



The screenshot shows the Mascot search engine interface with various parameters and annotations. The interface is divided into several sections:

- Database(s):** contaminants (AA)
- Amino acid (AA):** cRAP, SARS-CoV-2, SwissProt, UP186698_X_laevis, UP1940_C_elegans, UP2195_D_discoideum, UP219602_F_oxysporum, UP2311_S_cerevisiae, UP2485_S_pombe
- Taxonomy:** All entries
- Enzyme:** Trypsin
- Allow up to:** 1 missed cleavages
- Quantitation:** None
- Crosslinking:** None
- Fixed modifications:** --- none selected ---
- Variable modifications:** --- none selected ---
- Peptide tol. ±:** 1.2 Da, # 13C 0
- MS/MS tol. ±:** 0.6 Da
- Peptide charge:** 2+
- Monoisotopic:** Average
- Data file:** Dosyayı Seçin | seçili dosya yok
- Data format:** Mascot generic
- Instrument:** Default
- Decoy:**
- Report top:** AUTO hits
- Start Search ...** and **Reset Form** buttons.

Annotations (callouts) are present:

- Organizmaya uygun veritabanı buradan yüklenir** (points to Database(s))
- Enzim seçimi buradan yapılır** (points to Enzyme)
- MALDI veya ESI kullanımına göre iyon yük seçimi tanımlanır** (points to Peptide charge)
- Kütle spektrumları burada yüklenir** (points to Data file)
- Peptit içerisinde enzimin kesim yapamayıp atladığı miktar** (points to Allow up to)
- Sabit veya değişken modifikasyon Seçimi bu listeden yapılabilir** (points to Fixed and Variable modifications)
- Eşleşme yapılacak m/z değeri için hata payı Peptit kütlesi ve fragment kütlesi için ayrı ayrı girilir** (points to Peptide tol. ± and MS/MS tol. ±)
- Tarama başlatılır** (points to Start Search ...)

Şekil 11. Mascot (Matrix Science) arama motoru ile yapılan veritabanı taraması parametre seçim ara yüzü

Kütle spektrometre cihazlarını proteomik alanı için cazip kılan en önemli sebeplerden biri de otomatik kurulumla çok kısa sürede büyük veri (big data) eldesini mümkün kılmış olmasıdır. Elbette depolanan veri boyutu, analizlenecek örnek sayısına, sıvı kromatografisi programındaki elüsyon süresine ve kütle spektrometresindeki seçili veri toplama moduna (bütünsel/continuum veya kesikli/centroid) bağlı olduğu için bir bakıma kullanıcı

insiyatifindedir. Ancak bunun haricinde, artırılmış çözünürlük, tarama hızının yükseltilmesi ve iyon mobilite kaynaklı sürüklenme zamanı (drift time) gibi ilave özellik ve iyileştirmeler sayesinde günümüzdeki kütle spektrometre cihazları çok daha detaylı bilgi sunabilmektedir. Bu tür teknolojik gelişmelerin etkisi bilgisayar işletimlerine de yansdığı için, bir zamanlar megabayt düzeyinde olan proteomik verileri bugün gigabaytlar seviyesine ulaşsa da makul hızda ve daha kapsayıcı olarak gerçekleştirilebilmektedir.

A. MALDI İyonlaştırmalı Kütle Spektrometresinde Peptit Analizi

MALDI iyonlaştırma yönteminde, örnekler matris adı verilen ve genelde kütlesi küçük organik moleküller ile karıştırılıp metal bir plaka üzerinde kristalleştirmeye bırakılır. Kristalleşmiş olan örnek ve matris karışımı, tek dalga boyuna sahip pulse lazer kullanılarak yüzeyde foton bombalanmasına tabi tutulur. Bu esnada matris ve beraberinde analiz edilmek istenen örnek laser yardımı ile yüzeyden salınım ile ve eş zamanlı olarak iyonlaşma prosesine maruz bırakılır. Analizlenmek istenen örnekler bu matris molekülleri aracılığıyla hem iyonlaşmış hem de dedektöre taşınmış olduğundan bu teknik MALDI (matrix-assisted laser desorption ionization) yani matris yardımıyla lazer yüzeyden salınımlı iyonlaştırma tamlamasının kısaltması olarak kabul görmüştür [38]. Protein ve peptit analizlerinde en çok kullanılan matrisler başta α -siyano-4-hidroksisünamik asit (CHCA) olmak üzere, 2,5-dihidroksibenzoik asit (DHB) ve 3,5-dimethoxy-4-hydroxycinnamic asittir (Sinapinik asit, SA). MALDI iyonlaştırmada, matris ile örnek hazırlama dikkat edilmesi gereken önemli bir adımdır zira spektrometrik iyonların sinyal kalitesini, matris-iyon karışımının sıvı kısmı tamamen uzaklaşmış tam kristallerden oluşan doğru ön işlemler belirler.

MALDI iyonlaştırmalı sistemler lazer atımları süresince gerçekleştiğinden sıvı kromatografisinde olduğu gibi daimi veri işleme durumu yoktur onun yerine veriler kesitler halinde toplanır, bu bakımdan TOF (time of flight) adı verilen uçuş zamanlı kütle spektrometre analizörleri ile daha uyumlu çalışır.

MALDI iyonlaştırma yönteminde, örnekler matris adı verilen ve genelde kütlesi küçük organik moleküller ile karıştırılıp metal bir plaka üzerinde kristalleştirmeye bırakılır. Kristalleşmiş olan örnek ve matris karışımı, tek dalga boyuna sahip pulse lazer kullanılarak yüzeyde foton bombalanmasına tabi tutulur. Bu esnada matris ve beraberinde analiz edilmek istenen örnek laser yardımı ile yüzeyden salınım ile ve eş zamanlı olarak iyonlaşma prosesine maruz bırakılır. Analizlenmek istenen örnekler bu matris molekülleri aracılığıyla hem iyonlaşmış hem de dedektöre taşınmış olduğundan bu teknik MALDI (matrix-assisted laser desorption ionization) yani matris yardımıyla lazer yüzeyden salınımlı iyonlaştırma tamlamasının kısaltması olarak kabul görmüştür [38]. Protein ve peptit analizlerinde en çok kullanılan matrisler başta α -siyano-4-hidroksisünamik asit (CHCA) olmak üzere, 2,5-dihidroksibenzoik asit (DHB) ve 3,5-dimethoxy-4-hydroxycinnamic asittir (Sinapinik asit, SA). MALDI iyonlaştırmada, matris ile örnek hazırlama dikkat edilmesi gereken önemli bir adımdır zira spektrometrik iyonların sinyal kalitesini, matris-iyon karışımının sıvı kısmı tamamen uzaklaşmış tam kristallerden oluşan doğru ön işlemler belirler.

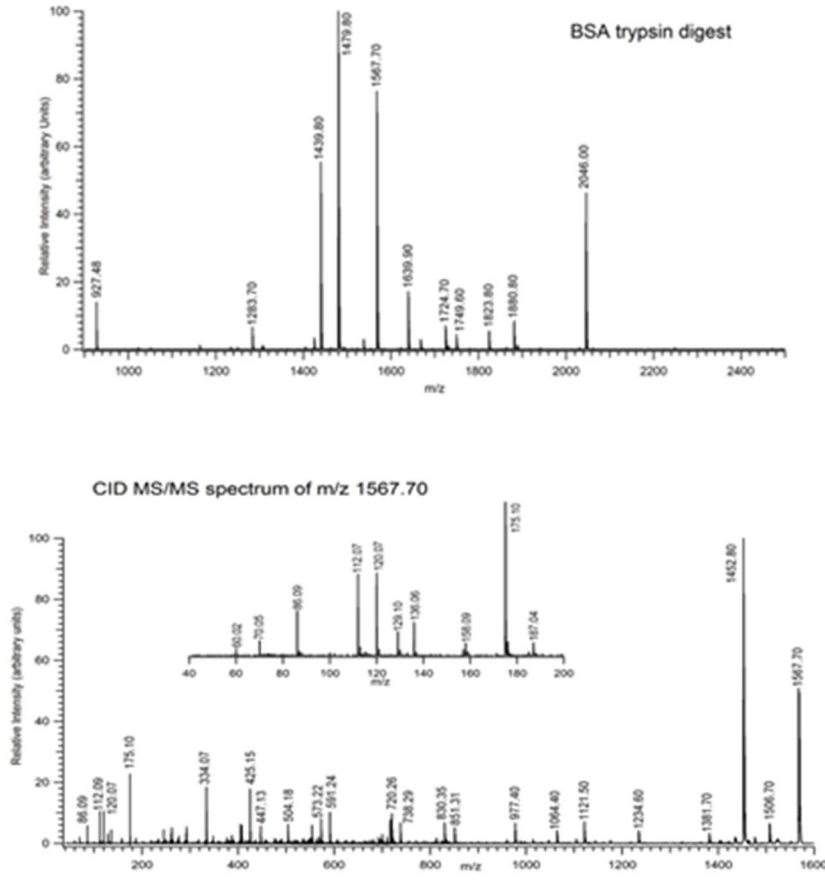
MALDI iyonlaştırmalı sistemler lazer atımları süresince gerçekleştiğinden sıvı kromatografisinde olduğu gibi daimi veri işleme durumu yoktur onun yerine veriler kesitler halinde toplanır, bu bakımdan TOF (time of flight) adı verilen uçuş zamanlı kütle spektrometre analizörleri ile daha uyumlu çalışır. MALDI iyonlaştırma yöntemi, tek yüke sahip iyon oluşturma (kütle spektrumundaki m/z değerleri için $z = 1$ olduğundan spektrum sadedir), geniş kütle aralığında ölçüm imkânı sunması, kontaminasyonlara karşı daha toleranslı olması ve öğreniminin kolay olması gibi özelliklerinden ötürü yaygın kullanım alanı bulmuştur.

Jele dayalı proteomik yaklaşımı, pratiklik kazandırması bakımından MALDI iyonlaştırma kütle spektrometreleri ile daha çok kullanılmaktadır çünkü proteinler izole halde oldukları için incelenen peptitlerin tek bir kaynaktan geldiği bilinir yani spektrumda m/z değeri okunan bütün peptitler bir proteinden gelir. İlk proteomik çalışmalarında sadece bu peptitlerin kütlelerinden protein parmak izi (peptide mass fingerprint) adı verilen yöntemler ile tanımlama yapılabiliyordu. Günümüzde bu yöntemden gerektiğinde faydalanılmasına rağmen güvenilirliği yetersiz kaldığı için o peptitlerin tercihen en az ikisinin cihaz içinde parçalanmasından elde edilen MS/MS spektrumlarına dayalı tanımlamalar daha güvenilir kabul edilmektedir.

Şekil 12'de tripsin ile kesim işlemi uygulanmış ve peptitlerine ayrılmış BSA proteinine ait peptit kütle spektrumu ve bu spektrumdan m/z değeri 1567,70 olan peptit sinyalinin cihaz içinde spesifik seçimli izolasyonu

sonrasında, enerji uygulanarak parçalanmasıyla elde edilen MS/MS kütle spektrumu verilmektedir. MS/MS spektrumunun düşük kütleleri içeren m/z 40-200 aralığı o peptit sekansında bulunan amino asitlerin tanısını sağlayan immonyum iyon sinyallerini barındırır. Örneğin m/z 60 serin, m/z 86 lösin veya izolösin, m/z 120 fenilalanin ve m/z 136 tirozin amino asitleri kaynaklı immonyum iyonları olabilir. İmmonyum iyon oluşumu, MALDI-TOF/TOF gibi yüksek enerjiyle çarpışmalı aktivasyona dayalı (high energy-CID) fragmentasyon tekniğinin kullanıldığı sistemlerde daha sık gözlemlenir. Daha büyük kütleli fragmentasyon iyonlarını barındıran 200-1600 m/z aralığındaki diğer sinyaller, amino asitlerin hangi sırada olduklarına dair çıkarsama yapmaya yarayan birbirine tamamlayıcı b ve y iyonlarından yeterince içeriyorsa peptit dizilimi veya peptit sekanslaması biyoinformatik araçlarla yüksek skorlu olarak yapılabilir. Bu sinyallerden yeterince bulunmuyorsa program spektrumda yer alan yanıtıcı sinyalleri kullanarak yine de bir eşleştirmede bulunur ancak bu eşleştirmedeki düşük skor değeri yanlış peptit tanımlaması ihtimalini artırır. Bu yüzden biyoinformatik araçlar istatistiksel hesaplamalardan yararlanarak rastgelelik ihtimalini en aza indiren bir sınır skor değeri belirleyerek bu değeri aşan eşleştirmeleri doğru tanımlama olarak kabul eder. Jele dayalı proteomik yaklaşımı, pratiklik kazandırması bakımından MALDI iyonlaştırma kütle spektrometreleri ile daha çok kullanılmaktadır çünkü proteinler izole halde oldukları için incelenen peptitlerin tek bir kaynaktan geldiği bilinir yani spektrumda m/z değeri okunan bütün peptitler bir proteinden gelir. İlk proteomik çalışmalarında sadece bu peptitlerin kütlelerinden protein parmak izi (peptide mass fingerprint) adı verilen yöntemler ile tanımlama yapılabiliyordu. Günümüzde bu yöntemden gerektiğinde faydalanılmasına rağmen güvenilirliği yetersiz kaldığı için o peptitlerin tercihen en az ikisinin cihaz içinde parçalanmasından elde edilen MS/MS spektrumlarına dayalı tanımlamalar daha güvenilir kabul edilmektedir.

Şekil 12'de tripsin ile kesim işlemi uygulanmış ve peptitlerine ayrılmış BSA proteinine ait peptit kütle spektrumu ve bu spektrumdan m/z değeri 1567,70 olan peptit sinyalinin cihaz içinde spesifik seçimli izolasyonu sonrasında, enerji uygulanarak parçalanmasıyla elde edilen MS/MS kütle spektrumu verilmektedir. MS/MS spektrumunun düşük kütleleri içeren m/z 40-200 aralığı o peptit sekansında bulunan amino asitlerin tanısını sağlayan immonyum iyon sinyallerini barındırır. Örneğin m/z 60 serin, m/z 86 lösin veya izolösin, m/z 120 fenilalanin ve m/z 136 tirozin amino asitleri kaynaklı immonyum iyonları olabilir. İmmonyum iyon oluşumu, MALDI-TOF/TOF gibi yüksek enerjiyle çarpışmalı aktivasyona dayalı (high energy-CID) fragmentasyon tekniğinin kullanıldığı sistemlerde daha sık gözlemlenir. Daha büyük kütleli fragmentasyon iyonlarını barındıran 200-1600 m/z aralığındaki diğer sinyaller, amino asitlerin hangi sırada olduklarına dair çıkarsama yapmaya yarayan birbirine tamamlayıcı b ve y iyonlarından yeterince içeriyorsa peptit dizilimi veya peptit sekanslaması biyoinformatik araçlarla yüksek skorlu olarak yapılabilir. Bu sinyallerden yeterince bulunmuyorsa program spektrumda yer alan yanıtıcı sinyalleri kullanarak yine de bir eşleştirmede bulunur ancak bu eşleştirmedeki düşük skor değeri yanlış peptit tanımlaması ihtimalini artırır. Bu yüzden biyoinformatik araçlar istatistiksel hesaplamalardan yararlanarak rastgelelik ihtimalini en aza indiren bir sınır skor değeri belirleyerek bu değeri aşan eşleştirmeleri doğru tanımlama olarak kabul eder.

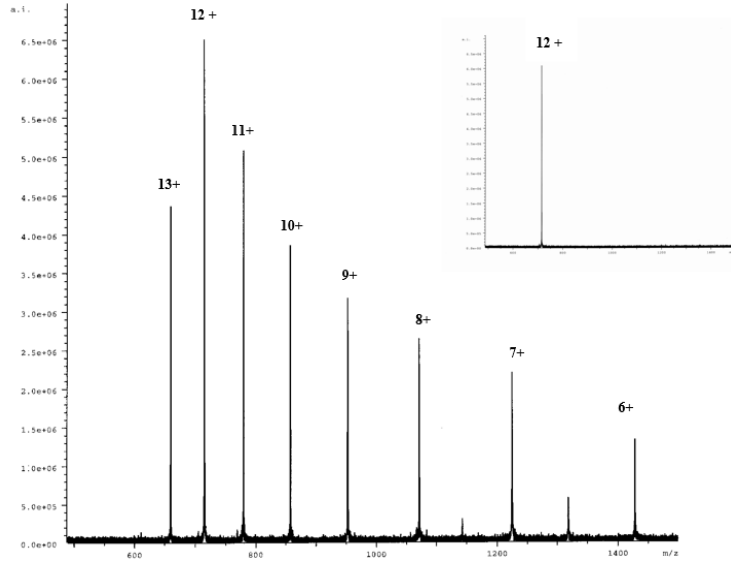


Şekil 12. Tripsin ile kesim işlemi uygulanmış BSA proteini MS spektrumu (üstte) ve bu spektrumda yer alan bir peptide ait MS/MS spektrumu (altta)

B. LC-MS/MS ile Peptit Analizi

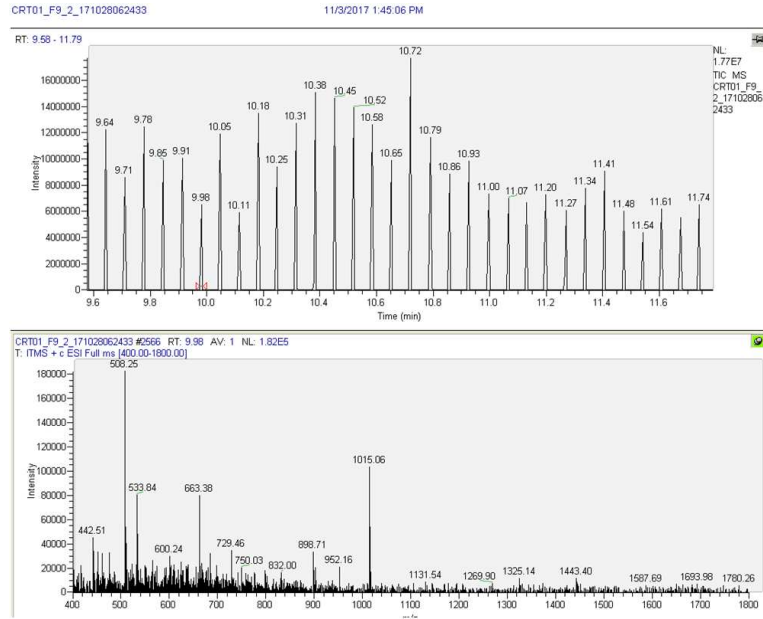
Başta proteomik alanı olmak üzere diğer pek çok alandaki biyolojik örneğin kütle spektrometresi ile hızlı ve yüksek kapasiteli ölçümünü mümkün kılan LC-MS ve MS/MS sistemleri, analitik kimyada standart bir ayırma metodu olan sıvı kromatografisinin ışığı absorblayan bir UV dedektör yerine iyon dedektörü görevi gören bir kütle spektrometresi cihazı ile birleşiminden oluşmaktadır. Ayrılmış halde kolondan gelen moleküller, sıvı ortamda olduğu için iyonlaştırmaları elektrospay (ESI) adı verilen diğer yumuşak iyonlaştırma tekniği ile sağlanır. ESI sayesinde iğne gibi dar çaplı kapiler bir borudan geçen LC mobil fazına yüksek voltaj uygulanarak aerosol yapıdaki yüklü ve ufak damlacıklar elde edilir [39]. Bu damlacıklardaki sıvı sıcaklık artırımı ve gazla üfleme gibi yardımcı müdahaleler ile uzaklaştırılarak yüklü tanecikler sistemin içine doğru çekilir. MALDI iyonlaştırmadan farklı olarak ESI de genelde çoklu yüke sahip iyonlar üretilmektedir.

Şekil 13'de Ubikütin proteinin elektrospay metodu ile alınmış ve değişik yük dağılımını gösteren kütle sinyali gösterilmektedir. Genelde biyopolimerlerin elektrospay ile elde edilen kütle sinyali burada olduğu gibi iyon şiddetleri farklı, +10'dan fazla yük taşıyan birden çok m/z sinyalini içerecek şekilde görülür. Bu çoklu protonlanmış kütle sinyalleri izole edilebilir parçalanmaya tabi tutulup bir proteine ait MS/MS spektrumu elde edilebilir. Tümünden gelişsel (Top down) proteomik adını alan bu yöntemde bütün bir protein tanımlanabilmektedir ancak bu yöntem zorluğu ve özel gerekleri nedeniyle yaygın kullanımda değildir. Daha küçük yapıdaki peptitler hem çeşitli sıvı ortamlarında kolayca çözünmekte hem de kütle spektrometresinde detaylı olarak rahatça analizlenebilmektedir. Proteinlerse peptitlere kıyasla, sıvıda çözünmüş halde izolasyonu oldukça güç ve fragmentasyon sonrası hayli kompleks MS/MS spektrumları veren çalışılması nispeten zor biyolojik materyallerdir.



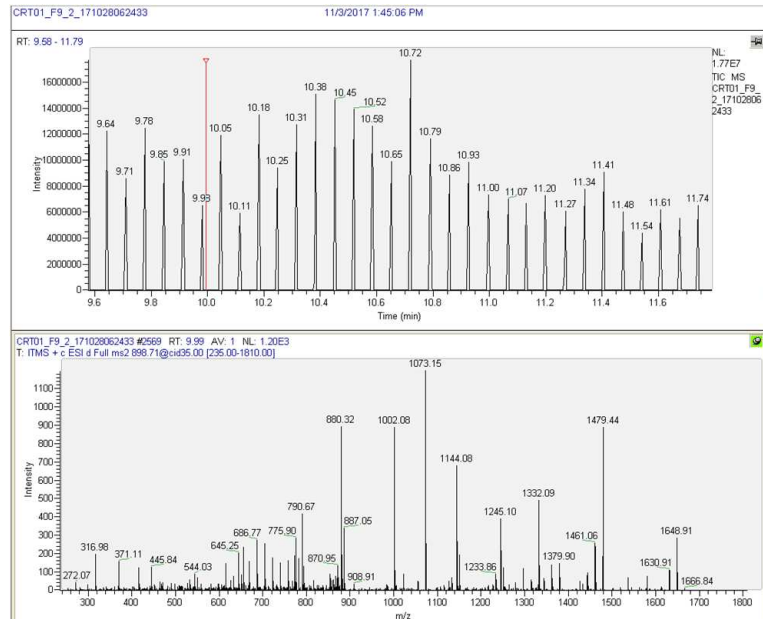
Şekil 13. Ubikütin proteininin ESI kütle spektrumu ve 12+ yüklü iyon sinyalinin izole edilmesi (küçük spektrum)

LC-MS/MS yönteminin proteomik alanında en etkin kullanımı, bilgi temelli data toplama (Data-dependent acquisition, DDA) ismi verilen kesintisiz veri kaydının komut edilebilmesi sayesinde yani yazılımsal bir başarı ile mümkün olmuştur. Denetimsiz (unsupervised) tabir edilen bu otomatik kullanımda önceden belirlenmiş parametreler doğrultusunda cihaz peptitlerin MS spektrumunu ve seçili peptitlerin MS/MS spektrumunu saniyenin de altında hızlarla durmaksızın arka arkaya toplar. Böylece bir peptit için alıkonma zamanı, m/z değeri ve onun parçalanma ürünleri hakkındaki eş zamanlı bilgiye sahip olunabilir. DDA modunun bilgi temelli olma hali hedef moleküllerin analiz şansını arttırmak için kullanıcı tarafından sisteme girilen parametrelere dayanır. Örneğin miktarı çok çok az olan sinyallerin zaten sonuç vermeyecek olan parçalanmalarını önlemek için iyon şiddeti olarak belir bir eşik değeri tanımlanır. Buna ek olarak, MS spektrumu alındıktan sonra kaç peptide parçalanma olacağı belirlenir ve aynı örneği defalarca analizlememek adına parçalanması yapılmış MS/MS spektrumu alınmış bir m/z değeri için belirli bir süreliğine dışlama uygulaması (exclusion time) yapılır. Her ne kadar bu şekilde yüksek çıktı elde edilse de aynı örnekten aynı koşullarda toplanan veriler birebir aynı olmadığı için yöntemin doğasındaki bu rastgelelik (stochastic) genelde analiz tekrarı ile giderilmeye çalışılır. Şekil 14'te DDA ile toplanmış bir veriye ait LC kromatogramı (üstte) ve o kromatogramın 9,98. dakikasına karşılık gelen MS spektrumuna yer verilmiştir. Spektrumun üzerinde # işareti ile gösterilen sayı, spektrum numarasını verir yani bu analizde ilk on dakika içerisinde 2500'den fazla spektrum elde edilmiş ve 9,98. dakika 2566 ıncı spektrum olarak kayda geçmiştir.



Şekil 14. Otomatik LC-MS/MS analizinde LC kromatogramı (üstte) ve MS spektrumu (altta) (Thermo LTQ-XL-MS,Xcalibur 2.0.7 den alınmıştır.)

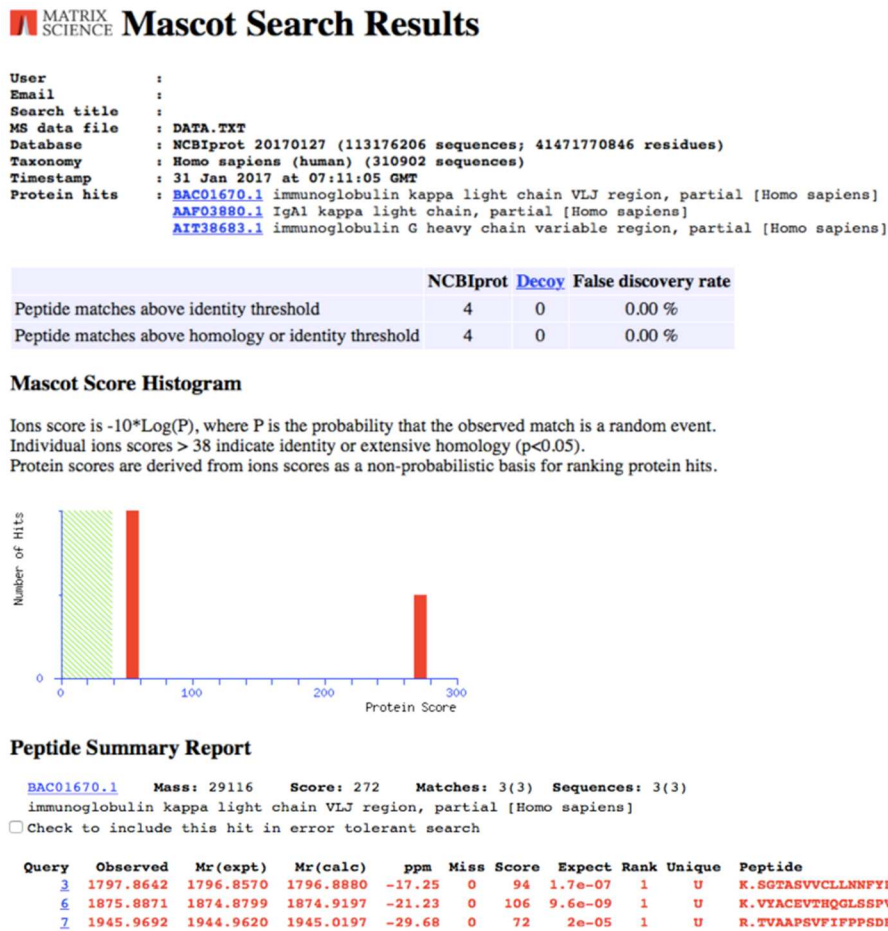
Şekil 15'te, aynı analize ait üstte bir LC kromatogramı altta ise bu sefer 898,71 m/z iyonunun parçalanma spektrumu yer almaktadır. Bu MS/MS spektrumundan alıkonma zamanının 9.99 ve spektrum numarasının 2569 olduğu görülüyor yani MS spektrumunun hemen arkasından parçalanma gerçekleşmiş. Tipik LC-MS/MS analizlerinin 1-2 saat arasında sürdüğü düşünülecek olursa, elimizde on binler hatta yüzbinlerce spektrum içerebilen ve bilgisayar yardımı olmadan değerlendirilmesi mümkün olmayan çıktı yığımları birikecek demektir. İşte bu noktada da kaçınılmaz bir şekilde, hesaplama yapan bilgisayarlar ve çeşitli biyoinformatik araçları devreye girer.



Şekil 15. Otomatik LC-MS/MS analizinde LC kromatogramı (üstte) ve MS/MS spektrumu (Thermo LTQ-XL-MS,Xcalibur 2.0.7 den alınmıştır.)

C. Veritabanı Taraması ile Protein Tanımlanması

Kütle spektrometresi ile protein tayini kısmında anlatılan, Mascot arama motoru ile veritabanı taraması ve protein tanımlanması işlemi ile elde edilen örnek bir sonuç Şekil 16’da verilmiştir. Bu örnekte bir proteinden tripsin enzimi ile kesim sonucu elde edilen peptitlerin MS/MS kütle spektrumları kullanılarak yapılan veri tabanı taramasında, peptitlerin sekansı ile ilgili proteinin tanımlanması yapılmış, yani kısmi sekans yardımıyla veritabanından bir protein tanımlanmıştır. MS/MS kütle spektrumu kullanılarak yapılan veri tabanı taramasında elde edilen bilgiler şu şekildedir: tanımlanan protein (ler)in adı, proteinin veritabanı kaydını gösteren gi numarası, olasılık temelli mowse skoru, histogram, protein molekül ağırlığı ve eşleşen peptitler (kırmızı olarak belirtilen amino asit dizilimleri). Bu ekranda analiz sonucu tanımlanan protein seçildiği zaman ise proteine ait molekül ağırlığı, pI değeri, kısmi sekans örtüşmesinin proteinin hangi bölgesi ile örtüştüğü görülebilir (şekilde verilmemiştir). Mowse (Molecular Weight Search) skoru, Mascot tarafından olasılık temeline dayanan ve ilgili sonucun anlamlı ya da anlamsız olarak değerlendirilmesini sağlayan bir değerdir. Skora ait histogramdan hangi skor değerinin üzerindeki tanımlamaların anlamlı olacağı görülür. Bu analiz sonucunda skor değeri 38’in üzerinde tanımlanmış proteinlerin benzerlik ya da kapsamlı bir homoloji gösterdiği belirtilmiştir, yani anlamlı sonuçları ifade etmektedir. Araştırmacıların, bu ve benzeri protein tanımlama sonuçlarını değerlendirirken sonuçlarının güvenilirliğini sağlamaları için bahsedilen parametreleri dikkate almaları önerilmektedir.



Şekil 16. MASCOT arama motoru kullanılarak yapılan veri tabanı taraması sonunda elde edilen örnek bir sonuç ekranı

IV. BİTKİ PROTEOMİK ARAŞTIRMALARINDA GELECEK

Birden fazla koşulun uygulandığı örneklerde veya zamanla Proteom profillerinin değişiminin anlaşılması gerektiğinde sıklıkla ek reaktif ya da pahalı kitler gerektirmemesi nedeni ile etiketlemenin yapılmadığı kütle spektrometresi yolu ile tanımlama tercih ediliyor. İşaretleme yöntemleri yetkin ve bütçesi elveren laboratuvarlarca uygulanmaktadır tabii burada en belirleyici faktörler örnek miktarının az olduğu durumlarda ve/veya standart yöntemlerle tespit etmenin zor olduğu düşük bolluktaki proteinlerin tespitinin hedeflenmiş olmasıdır. Bu etiketleme metotları ICAT (isotope coded affinity tag), SILAC (stable isotope labeling by amino acid in cell culture), ITRAQ (Isobaric tags for relative and absolute quantitation) reaktifleri ile işaretlemedir. ICAT yönteminde iki durum karşılaştırılır, SILAC işaretleme de bitki hücre kültürleri ile çalışmalar için uygunken [40] ITRAQ Yönteminde aynı anda 4 veya 8 örnekle çalışmak mümkündür, ayrıca bu yöntemlerle kantitatif karşılaştırmalı proteom farklılıkları tespit edilebilir [41].

Proteomik çalışmalarında amaçlanan sadece ifade edilen proteinlerin kimliklerinin niteliği değil aynı zamanda bu proteinlerin ne zaman hangi modifikasyonlarla ve nerede ifade edildiğini bilmektir. Özellikle bazı modifikasyonlar hem çok kararsız hem de çok azdır. Bu modifikasyonları tanımlayabilmek ilgili stres koşulunun araştırma konusu olan hipotezdeki rolünün anlaşılması veya söz konusu olan olayların altında yatan moleküler mekanizmaların anlaşılmasını sağlar. Doğal olarak görece daha oturmuş örnek hazırlama protokollerine sahip olan hayvansal organizmalar ve hücre kültür örneklerinde daha erken başlamış olan translasyon sonrası modifikasyonların aydınlatılması ile ilgili çalışmalar bitki proteomik araştırmalarında daha geç girmiştir. Örneğin hücre sinyalizasyon mekanizmalarında en etkili modifikasyonlardan biri olan fosforilasyon modifikasyonu klasik jel tabanlı ya da jelsiz tekniklerle hiçbir işlem yapılmadan bulunabilen fosforile protein Sayısı yüzde birdir. Ancak çeşitli zenginleştirme ön işlemleri uygulandığında fosforillenmiş proteinlerin tanımlanması mümkün olmaktadır bu amaçla titanyum dioksit ile zenginleştirme, immobilize metal affinite kromatografi ile zenginleştirme, yöntemleri literatürde en fazla karşılaşılanlardır. Diğer taraftan bu ön zenginleştirme yöntemlerini kullanmadan kütle spektrometresi analizleri esnasında tek veya çoklu reaksiyon izleme yöntemi sentezlenmiş iç standartlar kullandığından kesinliği ve tekrarlanabilirliği diğer metodlara üstündür. Üçlü-quadripol kütle spektrometresi analizleri uygulanır. Diğer taraftan yöntem zaman açısından tasarruflu bir yöntem olmadığı gibi gerekli örnek miktarı da yüksektir [42, 43].

Bitki proteomik araştırmalarında gelecekte daha derin araştırılması gereken alanlardan biri de hücre altı proteomik çalışmalarıdır ki bunların sayısı aslında tüm ökaryotik organizmalar için sınırlıdır. Bir taraftan bu yapıların membranlı yapılar oluşu ve diğer taraftan yoğun emek gerektirmeleri bu organellerle ilgili çalışmalarını sınırlayan faktörlerdir. Bitkiler de en fazla çalışılan hücre altı organeller mitokondri [44, 45] ve kloroplastlardır [46], çünkü bu organeller bitkinin enerji merkezleri olduğu gibi çeşitli biyotik/abiyotik streslere cevapta da etkin organellerdir. Organel temelli proteomik çalışmaları tanımlanan proteom kapsamını çok genişletecektir zira total protein ekstraksiyonları üzerinden gerçekleştirilen proteom çalışmaları ile tanımlanabilen proteinlerin önemli kısmı sitozolik proteinlerdir.

Omik yaklaşımlarını bir bütün olarak düşünerek yaklaşmak gerekliliği sistem biyolojisini doğurmuştur. Böylece genomik transkriptomik, proteomik, metalomik bulgularının çeşitli biyoinformatik araçlar vasıtası ile işlenmesine neden olmuştur [47]. Bu biyoinformatik araçlar moleküllerin hücre altı lokalizasyonlarının (WoLF PSORT: <https://wolffpsort.hgc.jp>) anlaşılması, salgı proteinlerinin olup olmadıklarının belirlenmesi (Secretome P: <http://www.cbs.dtu.dk/services/SecretomeP>), protein-protein etkileşimlerinin belirlenmesi (String: <https://string-db.org>) gibi informatik programlardır. Bu programların büyük kısmı web tabanlı programlar olup serbest erişime açıktır. Özellikle genom bilgisi ulaşılabilir organizmalar için tanımlanan proteinlerin fonksiyonlarının tahmin edilmesi için kullanılan programlar arasında yer alan ve sıklıkla tercih edilen Blast2Go gibi yazılımlar ücretli üyelikleri gerektirebilmektedir.

V. SONSÖZ

Proteomik çalışmaları ilk başladığı tarihlerden yakın zamana kadar, bitki yapısından ve içeriğinden kaynaklanan protein izolasyon ve ayırma basamaklarındaki problemler sebebi ile bitki örneklerinin kullanımına

çok fazla olanak vermemiş olsa da gelişmiş teknolojik sistemler ve yeni metotlar sayesinde bitki örnekleri de günümüzde kolaylıkla analiz edilebilmektedir. Bu derlemede, yakın tarihe kadar bitkiler ile yapılmış proteomik çalışmalarından örnekler verilmiş, bitki örneklerinin proteomik analizlerine yönelik ihtiyacı olan tüm araştırmacılar için el kitabı sağlayacak seviyede detaylı ve püf noktaları sunan örnek hazırlama ve ayırıştırma yöntemleri protokolleri paylaşılmıştır. Her ne kadar örnek hazırlığı ve protein ayırıştırılması için kullanılan yöntemler bu derlemede verilenler ile sınırlı olmasa da birçok araştırmacı tarafından sıklıkla kullanılan yöntemlerden örnekler hazırlanmıştır. Bunun yanı sıra, proteomik çalışmalarının temel yapıtaşlarını oluşturan izoelektrik odaklama, jel elektroforezi, iki boyutlu jel elektroforezi, sıvı kromatografisi ve kütle spektrometresi tekniklerine yönelik teorik açıklamalara da yer verilmiştir. Yazarların, proteomik, bitki proteomiği, protein ayırma teknikleri ve kütle spektrometresi ile protein tanımlama alanlarındaki bilgileri ve tecrübeleri okurlar ile paylaşarak yararlı bir kaynak oluşturulmaya çalışılmıştır. Unutulmaması gereken önemli noktalardan birisi 'SAMPLE HANDLING' diye bilinen, numunenin veya örneğin ön hazırlığı veya işlenmesi vs. basamaklarına çok dikkat edilmesidir. Analizi yapılacak örnekler ne kadar özenli ve titizlikle hazırlanırsa elde edilecek sonuçların güvenilirliği ve başarısı da ona göre kabul edilebilir olacaktır. Ayrıca, karşılaştırmalı proteomik çalışmalarında, birbirleri ile karşılaştırılacak olan örneklerin tamamının, aynı gün ve aynı şartlarda analiz edilmesi elde edilecek sonuçların başarılı olması açısından önemlidir. PAGE (JEL) ile ayırıştırılan örnekler her ne kadar buz dolabında uzun süre saklanabilir olması literatür tarafından kabul görmüş olsa da, deneyimlerimiz, 3-5 ay süre zarfında aynı gün ve aynı şartlarda elde edilmiş olan Jelde ayırıştırılan proteinlerin analizlerinin değişebildiğini göstermiştir. 3-5 ay önce yapılan bir analizin, benzer jelden alınan ve 3-5 ay sonra yapılan aynı protein örneğinin analizinin farklılık gösterdiği tarafımızdan gözlemlenmiş bir sonuçtur.

Son olarak, yapılacak proteomik çalışmalarında, araştırmalarında, izole edilen, saflaştırılan örneklerin hepsinin analizlerinin mümkün olan en kısa sürede, aynı şartlarda ve aynı zaman diliminde yapılması, elde edilecek sonuçların tekrarlanabilirliği açısından önemlidir.

Notlar

1. Proteomik araştırmalarında örnek hazırlığından 2D-PAGE ile ayrılan proteinlerin kütle spektrometresi için hazırlanması dahil bütün adımlarında kullanılan kimyasal maddelerin yüksek kalitede olması ve çözelti ve tampon hazırlıklarında kullanılan suyunun en azından 18MΩ olması gerekmektedir. Ayrıca 2D-PAGE tekniğinin 1. aşaması olan IEF kısmında özellikle IPG striplerin kullanıldığı IEF işlemlerinde örnekteki tuz miktarının 10mM'ın altında olması gerekmektedir. Çünkü IEF işleminde kullanılan ister IPG strip isterse tube-cell yöntemi olsun tuz toleransı çok düşüktür.

2. Proteomik çalışmalarının gerçekleştirileceği laboratuvarlarda mutlaka bir IEF sistemi bir de 2. boyutun gerçekleştirileceği 2. boyut elektroforez sistemi bulunmalıdır. Biz laboratuvarımızda GE Healthcare' ait olan 1. boyut için IPGPhor III ve 2. boyut için ise Ettan Dalt 6 (25x20cm) sistemini kullanmaktayız.

3. Diğer önemli ekipman ise soğutmalı yüksek devirli santrifüj.

4. Bitki materyali yüksek miktarda fenolik bileşikler içermesi nedeni ile bu bileşikler hem protein miktarının doğru tayinini engeller hem de elektroforez rezolüsyonunu düşürür. Bu nedenle bitki dokuları ile çalışılırken muhakkak PVPP kullanılmalı ve bu reaktif sıvı azot ile toz haline getirme aşamasında katı olarak eklenmelidir.

5. TCA/Aseton çöktürme yöntemi sırasında pelletin yıkanması işlemlerinde pellet hareketli olabileceğinden süpernatantın uzaklaştırılması dikkatli yapılmalıdır.

6. Soğuk aseton-DTT çözeltisi ile yıkama işlemi -bitki dokuları ile özellikle pigmentasyonun yüksek olduğu dokularda yaprak gibi- en az 6 kere tekrarlanmalı, eğer hala süpernatant renk içeriyorsa yıkama işlemi 8 e çıkarılmalıdır.

7. Protein örneklerinin hazırlanmasında SDS gibi deterjanların konsantrasyonlarının ayarlanması kritiktir çünkü bu deterjanlar Kütle spektrometresi analizleri için örnek hazırlanırken tripsin etkinliğini azaltmaktadır.

8.Fenol-SDS yöntemi için direkt fenol çözeltisi kullanılacaksa o taktirde toplanacak olan fenol fazı yer değiştirir.

KAYNAKLAR

- [1] Wilkins, M.R., Pasquali, C., Appel, R.D., Ou, K., et al., (1996). From proteins to proteomes: Large scale protein identification by two-dimensional electrophoresis and amino acid analysis. *Bio/Technology*, 14, 61-65.
- [2] Konishi, T., (2001). Genetic diversity in *Hordeum agriocrithon* E. Åberg, six-rowed barley with brittle rachis, from Tibet. *Genet. Resour. Crop Evol.* 110, 145-150.
- [3] Imin, N., Kerim, T., Weinman, J.J., Rolfe, B.G., (2001). Characterisation of rice anther proteins expressed at the young microspore stage. *Proteomics*, 1, 1149–1161.
- [4] Mandelc, S., Javornik, B., Majeran, W., Cai, Y., et al., (2004). A proteomics approach towards understanding blast fungus infection of rice grown under different levels of nitrogen fertilization. *Proteomics*, 14, 311 LP – 325.
- [5] Schubert, M., Petersson, U.A., Haas, B.J., Funk, C., et al., (2002). Proteome map of the chloroplast lumen of *Arabidopsis thaliana*. *J. Biol. Chem.*, 277, 8354-8365.
- [6] Shen, S., Matsubae, M., Takao, T., Tanaka, N., Komatsu, S. (2002). A proteomic analysis of leaf sheaths from rice. *Journal of biochemistry*, 132(4), 613–620.
- [7] Bindschedler, L. V., Burgis, T.A., Mills, D.J.S., Ho, J.T.C., et al., (2009). In planta proteomics and proteogenomics of the biotrophic Barley fungal pathogen *Blumeria graminis* f. sp. hordei. *Mol. Cell. Proteomics*, 8, 2368–2381.
- [8] Rampitsch, C., Günel, A., Beimcik, E., Mauthe, W. (2015). Proteome of monoclonal antibody-purified haustoria from *Puccinia triticina* Race-1. *Proteomics*, 15, 1307–1315.
- [9] Rampitsch, C., Bykova, N. V., McCallum, B., Beimcik, E., Ens, W. (2006). Analysis of the wheat and *Puccinia triticina* (leaf rust) proteomes during a susceptible host-pathogen interaction. *Proteomics*, 6, 1897–1907.
- [10] Kim, S. T., Kim, S. G., Hwang, D. H., Kang, S. Y., Kim, H. J., Lee, B. H., Lee, J. J., Kang, K. Y. (2004). Proteomic analysis of pathogen-responsive proteins from rice leaves induced by rice blast fungus, *Magnaporthe grisea*. *Proteomics*, 4, 3569–3578.
- [11] Gunel, A., Asbahi, A., Ozgazi, N., Akkaya, M.S., (2012). Identification of differentially expressed proteins in wheat after benzothiadiazole treatment. *J. Plant Dis. Prot.* 119.
- [12] Jung, Y. H., Jeong, S. H., Kim, S. H., Singh, R., Lee, J. E., Cho, Y. S., Agrawal, G. K., Rakwal, R., Jwa, N. S. (2012). Secretome analysis of *Magnaporthe oryzae* using in vitro systems. *Proteomics*, 12, 878–900.
- [13] Rampitsch, C., Day, J., Subramaniam, R., Walkowiak, S. (2013). Comparative secretome analysis of *Fusarium graminearum* and two of its non-pathogenic mutants upon deoxynivalenol induction in vitro. *Proteomics*, 13, 1913–1921.
- [14] Hochholdinger, F., Guo, L., Schnable, P. S. (2004). Cytoplasmic regulation of the accumulation of nuclear-encoded proteins in the mitochondrial proteome of maize. *The Plant journal : for cell and molecular biology*, 37, 199–208.
- [15] Lonosky, P. M., Zhang, X., Honavar, V. G., Dobbs, D. L., Fu, A., Rodermeil, S. R. (2004). A proteomic analysis of maize chloroplast biogenesis. *Plant physiology*, 134, 560–574.

- [16] Majeran, W., Cai, Y., Sun, Q., van Wijk, K. J. (2005). Functional differentiation of bundle sheath and mesophyll maize chloroplasts determined by comparative proteomics. *The Plant cell*, 17, 3111–3140.
- [17] Zhu, J., Alvarez, S., Marsh, E. L., Lenoble, M. E., Cho, I. J., Sivaguru, M., Chen, S., Nguyen, H. T., Wu, Y., Schachtman, D. P., Sharp, R. E. (2007). Cell wall proteome in the maize primary root elongation zone. II. Region-specific changes in water soluble and lightly ionically bound proteins under water deficit. *Plant physiology*, 145, 1533–1548.
- [18] Dunkley, T. P., Hester, S., Shadforth, I. P., Runions, J., Weimar, T., Hanton, S. L., Griffin, J. L., Bessant, C., Brandizzi, F., Hawes, C., Watson, R. B., Dupree, P., Lilley, K. S. (2006). Mapping the Arabidopsis organelle proteome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103, 6518–6523.
- [19] Maltman, D. J., Gadd, S. M., Simon, W. J., Slabas, A. R. (2007). Differential proteomic analysis of the endoplasmic reticulum from developing and germinating seeds of castor (*Ricinus communis*) identifies seed protein precursors as significant components of the endoplasmic reticulum. *Proteomics*, 7, 1513–1528.
- [20] Fernando, U., Chatur, S., Joshi, M., Thomas Bonner, C., Fan, T., Hubbard, K., Chabot, D., Rowland, O., Wang, L., Subramaniam, R., Rampitsch, C. (2019). Redox signalling from NADPH oxidase targets metabolic enzymes and developmental proteins in *Fusarium graminearum*. *Molecular plant pathology*, 20, 92–106.
- [21] Rampitsch, C., Huang, M., Djuric-Cignaovic, S., Wang, X., Fernando, U. (2019). Temporal Quantitative Changes in the Resistant and Susceptible Wheat Leaf Apoplastic Proteome During Infection by Wheat Leaf Rust (*Puccinia triticina*). *Frontiers in plant science*, 10, 1291.
- [22] Fang, X., Chen, J., Dai, L., Ma, H., Zhang, H., Yang, J., Wang, F., Yan, C. (2015). Proteomic dissection of plant responses to various pathogens. *Proteomics*, 15, 1525–1543.
- [23] Unlü, M., Morgan, M. E., Minden, J. S. (1997). Difference gel electrophoresis: a single gel method for detecting changes in protein extracts. *Electrophoresis*, 18, 2071–2077.
- [24] Wittig, I., Braun, H. P., Schägger, H. (2006). Blue native PAGE. *Nature protocols*, 1, 418–428.
- [25] Karger, B. L., Guttman, A. (2009). DNA sequencing by CE. *Electrophoresis*, 30 Suppl 1(Suppl 1), S196–S202.
- [26] Görg, A., Obermaier, C., Boguth, G., Harder, A., Scheibe, B., Wildgruber, R., & Weiss, W. (2000). The current state of two-dimensional electrophoresis with immobilized pH gradients. *Electrophoresis*, 21, 1037–1053.
- [27] Wang, W., Scali, M., Vignani, R., Spadafora, A., Sensi, E., Mazzuca, S., Cresti, M. (2003). Protein extraction for two-dimensional electrophoresis from olive leaf, a plant tissue containing high levels of interfering compounds. *Electrophoresis*, 24, 2369–2375.
- [28] Neuhoff, V., Arold, N., Taube, D., Ehrhardt, W. (1988). Improved staining of proteins in polyacrylamide gels including isoelectric focusing gels with clear background at nanogram sensitivity using Coomassie Brilliant Blue G-250 and R-250. *Electrophoresis*, 9, 255–262.
- [29] Zörb, C., Betsche, T., Langenkämper, G. (2009). Search for diagnostic proteins to prove authenticity of organic wheat grains (*Triticum aestivum* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 57, 2932–2937.
- [30] Finnie, C. 2006. Plant proteomics. Annual Plant Reviews. 28: ISBN:1-405 1-4429-7. Blackwell Yayınevi.
- [31] Demirci, YE., Inan, C., Günel, A., Maytalman, D., Mert, Z., Baykal, AT., Vural-Korkut,
- [32] S., Arda, N. & Hasançebi S. (2016). Proteome profiling of the compatible interaction between wheat and stripe rust. *European Journal of Plant Pathology*, 1-22.

- [33] Kim, ST., Cho, KS., Jang YS., Kang YK. (2001) Two dimensional electrophoretic analysis of rice proteins by polyethylene glycol fractionation for protein arrays. *Electrophoresis*. 22:2103-2109.
- [34] UniProt: the universal protein knowledgebase. *Nucleic Acids Res.* 2017
- [35] Ncbi Resource Coordinators, Database Resources of the National Center for Biotechnology Information. *Nucleic Acids Res.* 2017
- [36] Novel fragmentation process of peptides by collision-induced decomposition in a tandem mass spectrometer: differentiation of leucine and isoleucine *Anal. Chem.* 1987 Richard S. Johnson, Stephen A. Martin, Klaus. Biemann, John T. Stults, and J. Throck. Watson
- [37] An approach to correlate tandem mass spectral data of peptides with amino acid sequences in a protein database. Jimmy K.EngAshley L.McCormackJohn R.YatesIII, *J Am Soc Mass Spectrom* 1994
- [38] Perkins, D. N.; Pappin, D. J. C.; Creasy, D. M.; Cottrell, J. S., Probability-based protein identification by searching sequence databases using mass spectrometry data. *Electrophoresis* 1999, 20 (18), 3551-3567
- [39] Karas, M.; Bachmann, D.; Bahr, U.; Hillenkamp, F., Matrix-assisted ultraviolet laser desorption of non-volatile compounds. *International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes* 1987, 78, 53-68.
- [40] Fenn, J.; Mann, M.; Meng, C.; Wong, S.; Whitehouse, C., Electrospray ionization for mass spectrometry of large biomolecules. *Science* 1989, 246 (4926), 64-71
- [41] Matthes, A., Köhl K., Schulze, WX., SILAC and alternatives in studying cellular proteomes of plants. *Methods Mol Biol.* 2014;1188:65-83. doi:10.1007/978-1-4939-1142-4_6
- [42] Liu, B., Shan, X., Wu, Y., Su, S., Li, S., Liu, H., Han, J., Yuan, Y. (2018). iTRAQ-Based Quantitative Proteomic Analysis of Embryogenic and Non-embryogenic Calli Derived from a Maize (*Zea mays* L.) Inbred Line Y423. *International journal of molecular sciences*, 19(12), 4004.
- [43] Van Ness, L. K., Jayaraman, D., Maeda, J., Barrett-Wilt, G. A., Sussman, M. R., Ane, J. M. (2016). Mass spectrometric-based selected reaction monitoring of protein phosphorylation during symbiotic signaling in the model legume, *Medicago truncatula*. *PLoS one*, 11(5).
- [44] Arsova, B., Watt, M., Usadel, B. (2018). Monitoring of plant protein post-translational modifications using targeted proteomics. *Frontiers in plant science*, 9, 1168.
- [45] Fuchs, P., Rugen, N., Carrie, C., Elsässer, M., Finkemeier, I., Giese, J., Schallenberg-Rüdinger, M. (2020). Single organelle function and organization as estimated from Arabidopsis mitochondrial proteomics. *The Plant Journal*, 101, 420-441.
- [46] Niehaus, M., Straube, H., Künzler, P., Rugen, N., Hegermann, J., Giavalisco, P., Herde, M. (2020). Rapid affinity purification of tagged plant mitochondria (Mito-AP) for metabolome and proteome analyses. *Plant Physiology*, 182, 1194-1210.
- [47] Wang, Y., Li, X., Liu, N., Wei, S., Wang, J., Qin, F., Suo, B. (2020). The iTRAQ-based chloroplast proteomic analysis of *Triticum aestivum* L. leaves subjected to drought stress and 5-aminolevulinic acid alleviation reveals several proteins involved in the protection of photosynthesis. *BMC plant biology*, 20, 1-17.
- [48] Wang X. (2019). Protein and Proteome Atlas for Plants under Stresses: New Highlights and Ways for Integrated Omics in Post-Genomics Era. *International journal of molecular sciences*, 20, 5222.

Araştırma Makalesi - Research Article

Mikoriza ve Fungusit Uygulamalarının Domates Bitkisinin Bazı Büyüme ve Gelişim Parametreleri Üzerine Etkisi

Tuğba ÖZBUCAK^{1*}, Döndü KABUL², Öznur ERGEN AKÇİN³

Geliş / Received: 07/04/2020

Revize / Revised: 11/06/2020

Kabul / Accepted: 11/06/2020

ÖZ

Bu çalışmada mikoriza olan ve olmayan ortamlarda büyütülen domates bitkilerine uygulanan farklı fungusit dozlarının bitkinin kök, gövde uzunluğu, yaprak kuru ve yaş ağırlığı, spesifik yaprak alanı (SLA), yaprak kütle ağırlığı (LMA) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Fungusit dozları çiftçiye önerilen tarla dozu (D), önerilenin yarısı doz (D/2) ve önerilenin iki katı doz (D*2) şeklinde uygulanmıştır. Mikorizalı ortamda büyütülen bitkilerin bütün fungusit dozlarında kök ve gövde uzunlukları ile yaprak yaş ve kuru ağırlık değerleri mikorizasız olanlara göre daha yüksek bulunmuştur. Bununla beraber, istatistikî analiz sonuçlarına göre, sadece gövde uzunluğu (P<0.01) ve yaprak kuru ağırlığı (P<0.05) değerlerinin istatistikî olarak önemli olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Mikoriza, Domates (Solanum lycopersicum L.), Fungusit*

^{1*}Sorumlu yazar iletişimi: tsiozbucaak@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-4784-3537>)

Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Ordu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Ordu, Türkiye

²İletişim: fth.52.fk@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-6555-8107>)

Penpe İzzet Şahin Güzel Sanatlar Lisesi, Ordu, Türkiye

³İletişim: okacin@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-6875-6045>)

Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Ordu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Ordu, Türkiye

Effect of Mycorrhiza and Fungicide Applications on Some Growth and Development Parameters of Tomatoes

ABSTRACT

In this study, the effect of different fungicide doses applied on tomato plants grown in mycorrhiza and non-mycorrhiza environments on a plant root, stem length, leaf dry and wet weight, specific leaf area (SLA), leaf mass area (LMA) were investigated. Fungicide doses were applied to the farmers as recommended field dose (D), half of the recommended (D/2), and two-fold recommended (D*2). The lengths of root and stem and wet and dry weights of leaf in tomato plant grown in all of the fungicide doses in mycorrhiza environment were found higher compared to non-mycorrhiza environments. However, according to the results of statistical analyses, only stem length ($P<0.01$) and leaf dry weight ($P<0.05$) values were determined to be statistically significant.

Keywords: *Mycorrhiza, Tomato (Solanum lycopersicum L.), Fungicide*

I.GİRİŞ

Mikorizaların bitkiler ile mikroorganizmalar arasında görülen önemli simbiyotik ilişkilerden birisi olduğu, bitkilerin yeryüzündeki dağılışında önemli rol oynadıkları düşünülmektedir [1, 2, 3]. Bitkilerin büyük bir kısmında mikorizal oluşum görülmekle beraber, Glomales ordosunun Zygomycetes arbüsküler tipi tarım ürünlerinde en sık bulunanıdır [4]. Arbüsküler mikorizal funguslar, tek ve çok yıllık bitkilerin köklerine kolayca enfekte olabilme yeteneklerinden dolayı farklı konukçu türleri üzerinde kültüre alınabilirler [5]. Arbüsküler mikorizal (AM) funguslar bitkinin büyüme ve gelişmesini uyarmasının yanında, biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı toleransını arttırmasına da katkı sağlarlar [6]. Bununla beraber AM fungusların besin elementi alınımı, transferi, su ekonomisi ve klorofil içeriği gibi önemli biyokimyasal ve fizyolojik özellikler üzerinde de önemli rol oynadığı bildirilmektedir [7,8].

Son yıllarda yanlış tarımsal uygulamalar sonucu bitki kökleri ile mantar miselleri arasında karşılıklı fayda sağlayan bu ilişkinin bozulması toprak özellikleri ve ekosistem süreçlerini olumsuz etkilemektedir. Mikorizal mantarları azalmış bir komünitede, mikoriza özelliği taşımayan yabancı ot türleri artmakta, besin elementi döngüsü bozulmaktadır. Bununla beraber tarımda kontrolsüz ve bilinçsiz pestisit kullanımından kaynaklan yanlış uygulamalar bulunmaktadır. Kullanılan tüm pestisitler hem doğada hem de canlı organizmalarda az ya da çok farklı etkiye sahiptirler [9, 10]. Bu ve benzeri nedenlerden dolayı tarım toprakları çoğu zaman yeterli sayı ve etkinlikte mikoriza bulunduramamaktadır. Doğal mekanizmaların etkin olmadığı, yeterince organik gübrelemenin yapılamadığı ortamlarda optimum ürün yetiştiriciliği için tarım topraklarına mikoriza ilave edilmesi önemli olmaktadır. Yapılan bazı çalışmalar ile mikorizal mantarların bitki hastalık ve zararları ile mücadelede, toprak sorunlarına karşı dayanıklılık geliştirmekte ve bitki büyümesine katkı sağlamada yaygın bir şekilde kullanıldığı bildirilmektedir [11, 12,13,14,15,16, 2, 8].

Bu çalışmanın amacı, Arbüsküler Mikorizal Fungus (*Glomus fasciculatum*, *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae*) uygulanmış ve uygulanmamış ortamlarda büyütülen domates bitkisinin bazı morfolojik parametreleri üzerinde ticari bir fungusitin farklı dozlarının etkilerini karşılaştırmaktır. Mikorizal ilişkilerin bitkinin büyüme ve gelişmesi, besin elementi içeriği, bitkiye sağladığı avantajlar ile fungusit kullanımının bitki üzerindeki etkisini ortaya koyan ayrı ayrı çalışmalar mevcuttur. Yapılan çalışmada mikorizalı ve mikorizasız bitkilerde bazı büyüme ve gelişme parametreleri üzerinde fungusit kullanımının meydana getirdiği etkiler karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Kontrolsüz ve bilinçsiz kullanım sonucu artan fungusit tüketimi bitkilerde ve besin zinciri yoluyla da insan dâhil diğer canlılarda birtakım zararlara yol açmaktadır. Bitkiye pek çok avantaj sağlayan mikorizanın bitkideki etkilerini incelemeye çalışmak bu araştırmanın öncelikli amaçlarından birisidir. Bu amaçla ülkemizde ve dünyada en çok üretilen ve tüketilen sebzelerden biri olan ve ihracatı sırasında pestisit kalıntısı sorunları yaşanabilen domates seçilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

Çalışmada ticari olarak satın alınan domates tohumları, *Glomus fasciculatum*, *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae* karışımı mikoriza ile Propineb etken maddeli bir fungusit kullanılmıştır. Çalışmanın başlangıcında sterilize edilen domates tohumlarının yarısı mikoriza ile inokule edilmiştir. 2:1:1 oranında torf: perlit: toprak karışımı olan plastik kaplara ekilen tohumlar 23,5°C, %60 nem şartlarında gece gündüz periyoduna ayarlanmış iklim dolabında yaklaşık bir hafta çimlendirilmiştir. Laboratuvarda bir süre daha bekletilen fideler saksılara alınarak sera ortamında büyüme bırakılmıştır.

Denemede toplam 24 saksının 12 tanesi mikoriza ile inoküle olanlardan diğer 12 tanesi ise mikoriza olmayanlardan oluşmaktadır. Yaklaşık bir ay sonra sera ortamına alınan saksılardan kontrol grubu dışındakilere püskürtücü yardımıyla 7 gün ara ile 5 kez çiftçiye önerilen tarla dozu (D), önerilenin yarısı (D/2) ve önerilenin iki katı (D*2) olacak şekilde fungusit uygulanmıştır. Çalışma üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

Yaprakların yaş ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi için her deneme grubundan alınan yapraklar tartılarak yaş ağırlıkları hassas terazi yardımı ile ölçülmüştür. Ölçümü yapılan yaprak örnekleri 60 °C' de 72 saat kurutulup, hassas bir terazi yardımıyla bitkilerin kuru ağırlıkları kaydedilmiştir.

Hasat döneminin başlangıcında (yaklaşık 3,5 ay sonra) domates meyveleri alındıktan sonra kök ve gövde uzunluğunun ölçülmesi için bitkiler saksıdan alınmadan önce toprak hizasından başlayarak cetvel yardımıyla ana gövde boyları, saksılardan söküldükten sonra ise kök boyları ölçülmüştür.

Bitkinin vejetatif döneminde toplanan yaprak numunelerin sapları kesilip birkaç gün preslendikten sonra spesifik yaprak alanı (SLA) değerleri planimetre ile ölçülmüştür. Spesifik yaprak alanı (SLA) ve yaprak kütle ağırlığı (LMA) aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

$$SLA = \frac{\sum \text{alan}}{\sum \text{ağırlık}}, SLA = \text{Ortalama spesifik yaprak alanı (dm}^2/\text{g)}$$

$$\text{Alan} = \text{Toplam yaprak alanı}, \text{Ağırlık} = \text{Toplam yaprak kuru ağırlık (g)}$$

$$LMA = \frac{\sum \text{Ağırlık}}{\sum \text{alan}}, LMA = \text{Yaprak ağırlık/ Yaprak alan (g/dm}^2)$$

$$\text{Ağırlık} = \text{Toplam yaprak kuru ağırlık (g)}, \text{Alan} = \text{Toplam yaprak alanı (dm}^2)$$

III. BULGULAR

A. Kök Uzunluğu (cm)

Bitki kök uzunluğu ile ilgili morfolojik sonuçlar Şekil 1 ve Tablo 1’de verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, Kontrol, D, D/2 ve D*2 fungusit dozlarında mikorizalı bitkilerin köklerinin daha uzun ve daha yoğun olduğu görülmektedir. Bitkinin kök uzunluğuna (cm) ait istatistiki analiz sonuçlarına göre anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir ($P>0.05$) (Tablo 1). Ancak kök uzunluğu ile ilgili ortalama değerlere bakıldığında mikorizalı olan bitkilerin kök uzunluğunun mikorizalı olmayan bitkilere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Mikorizalı olanlarda fungusit dozu artışına bağlı olarak azalma olduğu görülmektedir. Kök uzunluğu bakımından Kontrol grubunda, D, D/2 ve D*2 dozlarında mikorizalı>mikorizalı olmayan şeklindedir.



Şekil 1. Kök uzunluklarının karşılaştırılması (a: Kontrol grubu kök uzunluğu, b: D/2 dozu kök uzunluğu, c: D dozu kök uzunluğu, d: D*2 dozu kök uzunluğu)

B. Gövde uzunluğu (cm)

Şekil 2 ve Tablo 2’de bitki gövde uzunluğu ile ilgili morfolojik sonuçlar verilmiştir. Sonuçlara göre Kontrol, D, D/2 ve D*2 fungusit dozlarında mikorizalı bitkilerin gövdelerinin daha uzun olduğu görülmektedir. Gövde uzunluğuna (cm) ait tanıttıcı istatistik değerleri, varyans analizi ve Tukey testi analizi sonucunda mikoriza*doz interaksyonunun istatistik olarak önemli olmadığı görülmektedir ($P>0.05$). Aynı şekilde mikoriza olup olmaması arasında da istatistikî olarak önemli bir fark bulunmamıştır ($P>0.05$). Ancak gövde uzunluğu ile ilgili ortalama değerlere bakıldığında mikorizalı olan bitkilerin gövde uzunluğunun mikorizasız olan bitkilere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Gövde uzunluğu bakımından Kontrol grubunda, D ve D*2 dozunda mikorizalı>mikorizasız şeklindedir. D/2 dozunda ise mikorizalı<mikorizasız şeklindedir. Fungusit dozları arasındaki farklılık ise istatistik olarak anlamlı bulunmuştur ($P<0.01$). Hangi dozlar arasında farklılık olduğunun belirlenmesi amacıyla yapılan Tukey testi sonuçları incelendiğinde, bitkideki gövde uzunluğu D/2, Kontrol ve D*2 dozlarına göre daha yüksek bulunmuştur ($P<0.05$). Ancak D/2 ve D dozları arasındaki fark istatistikî olarak önemli değildir ($P>0.05$) (Tablo 2).



Şekil 2. Gövde uzunluklarının karşılaştırılması (a: Kontrol grubu gövde uzunluğu b: D/2 dozu gövde uzunluğu, c: D dozu gövde uzunluğu, d: D*2 dozu gövde uzunluğu)

C. Yaprak yaş ağırlığı (g)

Yaprak yaş ağırlığına (g) ait istatistiksel analizi sonuçları Tablo 3’de verilmiştir. Tabloya göre varyans analizi sonucunda farklılıkların istatistik olarak önemli olmadığı görülmektedir ($P>0.05$). Yaprak yaş ağırlığı ile ilgili ortalama değerlere bakıldığında mikorizalı olan bitkilerin yaprak yaş ağırlığının mikorizasız olan bitkilere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Yaprak yaş ağırlığı bakımından Kontrol grubunda, D, D/2 ve D*2 dozlarında mikorizalı >mikorizasız şeklindedir.

D. Yaprak kuru ağırlığı (g)

Tablo 4’de yaprak kuru ağırlığına (g) ait tanıttıcı istatistik değerleri ve varyans analizi sonuçları verilmiştir. Çizelge 4.7 incelendiğinde, varyans analizi sonucunda mikoriza*doz etkisinin istatistik olarak önemli olmadığı görülmektedir ($P>0.05$). Aynı şekilde fungusit dozları arasındaki farklılık da istatistik olarak önemli bulunmamıştır ($P>0.05$). Mikorizalı bitkilerin yaprak kuru ağırlığının mikorizasız olanların yaprak kuru ağırlığından önemli derecede yüksek olduğu görülmektedir ($P<0.05$).

E. Spesifik yaprak alanı (SLA dm^2/g)

Spesifik yaprak alanına (dm^2/g) ait istatistik analiz sonuçları Tablo 5’de verilmiştir. Tabloya bakıldığında varyans analizi sonucunda farklılıkların istatistik olarak önemli olmadığı görülmektedir ($P>0.05$). Ancak spesifik yaprak alanı ile ilgili ortalama değerlere bakıldığında Kontrol grubu ve D/2 dozunda mikorizalı >mikorizasız şeklindedir. D ve D*2 dozunda ise mikorizalı <mikorizasız şeklindedir.

F. Yaprak kütle ağırlığı (LMA g/dm^2)

Tablo 6’da yaprak kütle ağırlığına ait istatistiksel analiz sonuçları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde varyans analizi sonucunda hiçbir farklılığın istatistik olarak önemli olmadığı görülmektedir ($P>0.05$). Ancak yaprak kütle ağırlığı ile ilgili ortalama değerlere bakıldığında Kontrol ve D/2 dozunda mikorizalı <mikorizasız şeklinde iken D ve D*2 dozlarında mikorizalı >mikorizasız şeklindedir.

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada mikoriza inoküle edilen ve edilmeyen ortamlarda büyütülen domates bitkilerine uygulanan farklı dozlardaki fungusit uygulamalarının kök, gövde, yaprak gibi vejetatif kısımları üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Çünkü bu özellikler bitkinin bulunduğu ortamda meydana gelen değişikliklere karşı duyarlı olan bitkinin önemli ekolojik indikatörler özellikleridir [17]. Morfolojik ölçümlere ait sonuçlara bakıldığında kök uzunluğu ve yaprak yaş ağırlığı değerlerinin istatistiksel olarak önemli olmadığı, gövde uzunluğu ve yaprak kuru ağırlığı değerlerinin istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Bitki kök uzunluğu ile ilgili istatistiksel olarak önemli bir fark olmamakla beraber mikoriza inoküle olan bitkilerin kontrol, D/2, D, D*2 dozlarının kök uzunluklarının, mikoriza olmayan bitkilerin aynı dozlarına göre daha uzun ve sık olduğu görülmektedir. [18] tarafından yapılan bir çalışmada AMF uygulanmış bitkilerin uygulanmayanlara göre istatistiksel olarak önemli çıkmamış olanlarda dahi iyi gelişim gösterdiği belirlenmiştir.

Bitki köklerinin mikoriza ile enfekte olduğunda daha fazla su ve besin elementi alabildiği bildirilmektedir [19, 6, 8]. [9] tarafından yapılan bir çalışmada mikoriza ile aşıl原因an tüm bitkilerin vejetatif gelişme dönemi sonrasında daha iyi bir kök sistemine sahip oldukları belirtilmiştir. Mikorizal fungusların bitki kökleri tarafından alımı yavaş olan besin elementlerini özellikle de fosforun alınımını önemli derecede artırdığı yapılan bazı çalışmalar ile belirlenmiştir [9, 20, 21]. Mikoriza hifleri çok ince yapısı ile köklerin giremediği ince porlara girerek su ve besin elementlerinden yararlanabilmektedir [22]. Yapılan bu çalışmada da kök gelişiminde olumlu durumun diğer çalışmalar ile paralellik gösterdiği görülmektedir. Bununla beraber, bitki kök uzunluğu değerlerinin fungusit uygulanan örneklerde doz arttıkça kontrole göre azaldığı görülmektedir. Bu durum fungusitlerin bitkinin büyüme ve gelişimi üzerine yaptığı olumsuz etkilerden kaynaklanmış olabilir.

Bitki gövde uzunluğuna ait sonuçlar bitkilerin mikorizalı olup olmaması ve mikoriza-doz etkisini açısından istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ancak gövde uzunluğu ile ilgili ortalama değerlere bakıldığında mikorizalı bitkilerin gövde uzunluğunun mikorizasız olan bitkilere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber, fungusit dozları arasındaki farklılık ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. [23] tarafından yapılan bir sera denemesinde *G. mosseae*’nin domateste bitkinin boy, sürgün kuru ağırlığı ve çiçek miktarını

kontrol bitkisine göre önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. AMF uygulamalarının kök, gövde ve vejetatif gelişimi arttırdığı bildirilmiştir [18, 24].

Yapılan çalışmada uygulanan bütün fungusit dozlarında mikorizalı bitkilerin yaş ağırlığının mikorizasızlardan daha yüksek olduğu, ancak sonuçların istatistiki olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda fungusit uygulanan örneklerin yaş ağırlığı kontrole göre azalmıştır. [25] tarafından yapılan çalışmada mikorizanın biber bitkisinin yaş ve kuru ağırlıkları üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, mikoriza uygulanan biber bitkilerinin yaş ve kuru ağırlıklarının arttığı tespit edilmiştir.

Yaprak kuru ağırlığı değerlerine bakıldığında mikoriza-doza etkileşiminin ve fungusit dozlarının istatistiki olarak önemli olmadığı görülmektedir. Ancak mikorizalı bitkilerin yaprak kuru ağırlığının mikorizasızların yaprak kuru ağırlığından daha yüksek olduğu ve istatistiki olarak önemli olduğu görülmektedir. Bu durum literatürdeki diğer çalışmalarla paralellik göstermektedir. Mikorizaların oluşturduğu ince hifler bitki köklerinin daha derine ulaşmasını, daha fazla yüzey alanı oluşturmasını sağlayarak köklerin temas yüzeyini arttırmaktadır. Mikoriza bitki köklerini enfekte ettiği zaman bitki fungusun oluşturduğu hifleri kökün bir parçasıymış gibi kullanarak daha fazla besin elementi ve su almaktadır [25, 17]. Bu nedenle mikoriza uygulaması bitkide kuru madde miktarını arttırmaktadır [26]. [27] tarafından yapılan bir çalışmada da bizim çalışmamıza benzer olarak mikoriza ile enfekte olmuş bitkilerin kuru madde ağırlığının mikorizasız olanlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada da mikoriza aşılamanın patlıcan bitkisi üzerindeki etkileri incelenmiş, mikorizanın bitki gelişimi ve ona bağlı olarak da verimi artırdığı tespit edilmiştir [28].

Mevcut çalışmada spesifik yaprak alanı (SLA), yaprak kütle ağırlığı (LMA) ve yaprak yaş ağırlığı değerleri istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($P>0.05$). SLA değerlerinin bitkilerin mikorizalı olup olmamasına göre istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı fakat ortalama değerlere bakıldığında fungusit dozu arttıkça mikorizasız olan bitkilerde SLA değerlerinin daha büyük olduğu tespit edilmiştir. LMA ile SLA birbirinin tersi şeklinde formüle edildiği için LMA değerlerinde ise tam tersi bir durum görülmektedir. Mikorizasız bitkilerde fungusit dozuna bağlı olarak düşük SLA, yüksek LMA değerlerinin görülmesinin nedeni bitkilerin fotosentez oranlarındaki değişime bağlı olarak sentezledikleri organik madde miktarındaki değişim olabilir. Çünkü bitkiye fungusit uygulamasının yapıldığı yer bitkinin yaprakları olup, fungusitlerin fotosentetik pigment miktarlarını azaltarak fotosentezi olumsuz yönde etkilediği bildirilmektedir [29,30,31]. Mevcut çalışmada SLA değerlerinin düşük olmasının nedeni yaprakların büyüme aşamasında uygulanan fungusitin olumsuz etkisi olabilir. [32] tarafından yapılan bir çalışmada SLA ve LMA'nın besin elementlerinin etkili bir şekilde kullanılmasında ve hızlı biyokütle üretimi arasındaki değişimi dengelemede rol oynadığı bildirilmiştir. Çünkü SLA ve LMA kaynak kullanım stratejilerinin belirleyici özellikleridir ve çeşitli çevrelerdeki farklı bitki türleri için bu özellikleri değerlendirmek çok önemlidir.

Yapılan bu çalışma ile mikorizanın domates bitkisinin bazı büyüme ve gelişme parametreleri üzerinde fungusit uygulamasına rağmen olumlu etkileri olduğu belirlenmiştir. AMF'ler doğal ve tarımsal ekosistemlerin toprak rizosferinin önemli mikrobiyal simbiyotlarından olup kök morfolojisindeki değişimleri uyarması, konukçu bitkinin besin durumunu geliştirmesi, patojen saldırılarında konukçunun toleransını artırması ve bitki savunma mekanizmalarını aktive etmesi gibi etki mekanizmalarına sahiptirler [32]. Bitki büyüme ve gelişmesi, toprak verimliliği, bitki sağlığı, madde döngüsü gibi ekolojik süreçlerde önemli rol oynayan AMF'lerin bitkiye direnç ve koruma sağlayabileceği tespit edilmiştir. Bunun nedeni mikorizal birlikteliğin bitkinin fizyolojisi ve morfolojisi üzerinde yaptığı etkiler olabilir. [9] tarafından mikoriza uygulaması sonrasında yapılan fungusit uygulamasından mikorizanın etkilenmeyeceği bildirilmiştir. Mikoriza enfeksiyonunun bitki için zararlı elementleri ya bertaraf ederek ya da bünyesinde tutarak bitkiyi zararlı/toksik maddelerden koruyabileceği belirtilmiştir. Bu noktadan hareketle, saksı denemelerinden elde edilen bu başlangıç verilerinin bu konuda ileride yapılacak tarla denemeleri gibi daha kapsamlı çalışmalara ve literatüre ışık tutacağı kanısındayız.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi AR-1535 no'lu projenin bir kısmıdır. Katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Öztürk, N., Basım, E., & Basım, H. (2017). Tarımda Mikorizal Fungusların Etkinliği. *Mantar Dergisi*, 8 (1): 20-34.
- [2] Özbucak, T. & Kabul, D. (2019). Mikoriza Uygulanmış ve Uygulanmamış Domates Bitkisinde Farklı Fungusit Dozlarının Meyve Kalite Parametreleri Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması. *Adi Ziraat Derg.*, 16(2):161-168.
- [3] Kapoor, R., Chaudhary, V., Bhatnagar, A.K. (2007). Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. *Mycorrhiza*, 17:581–587.
- [4] Marin, M., Ybarra, M., Fe, A.,& Garcia-Ferriz, L. (2002). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and pesticides on *Cynara cardunculus* growth. *Agricultural and Food Science in Finland*. 11: 245-251.
- [5] Kabul, D. (2018). Domates (*Solanum lycopersicum* L.) Bitkisinde Mikorizanın Pestisit Direncinin İncelenmesi. *Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 112 s.
- [6] Zhu, X., Song, F.,& Xu, H. (2010). Influence of arbuscular mycorrhiza on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activity of maize plants under temperature stress. *Mycorrhiza*, 20:325–332.
- [7] Pereira, J.A.P., Vieira, I.J.C., Freitas, M.S.M., Prins, C.L., Martins, M.A.,& Rodrigues, R. (2016). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on *Capsicum* spp. *J. Agri. Sci.* 154,:828–849.
- [8] Rafique, M. & Ortaş, İ. (2018). Nutrient uptake-modification of different plant species in Mediterranean climate by arbuscular mycorrhizal fungi. *Eur. J. Hortic. Sci.* 83(2), 65–71.
- [9] Korkmaz, A.A. (2005). Farklı Konukçu Bitki Ve Yetiştirme Ortamlarının Mikoriza Üretimi Ve Kalitesi Üzerine Etkileri. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 65s.
- [10] Nersheim, O.N. (1993). Toxicity of pesticides. *A series of the Pesticide Information Offici*. Florida.
- [11] Cordier, A.T., Gianinazzi, S.,& Gianinazz-Pearson, V. (1996). Arbuscular mycorrhiza technology applied to micropropagated *Prunus avium* and to protection against *Phytophthora cinnamomi*. *Agronomie*, 16:676-688.
- [12] Al-Karaki, G.N., (2000). Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza*, 10: 51-54.
- [13] Hajiboland, R., Aliasgharzadeh, A., Laiegh, S.F.,& Poschenrieder, C. (2010). Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Plant Soil*, 331: 313-327.
- [14] Abdel Latef, A.A., & Chaoxing, H. (2011). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Sci.Hort.*, 127: 228-233.
- [15] Çekiç, C. & Yılmaz, E. (2011). Effect of arbuscular mycorrhiza and different doses of phosphor on vegetative and generative components of strawberries applied with different phosphor doses in soilless culture. *African J of Agric Res*, 6(20):4736-4739.
- [16] Öztekin, G.B.& Ece, M. (2014). Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi. *Turk J Agric Res*.1:35-42ISSN:2148 2306.
- [17] Yalçın, E. (2018). Ekosistemlerde Yaprığın Ekolojik Fonksiyonları. *Black Sea Journal of Engineering and Science* 1(2): 68-82.

- [18] Ulukapı, K., Kurt, Z. & Şener, S. (2020). The Effects of Mycorrhiza Application on Vegetative and Generative Growth in Pepper (*Capsicum annuum* L.) Plants under Water Deficiency Conditions. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(4): 927-931.
- [19] Ortaş, İ. (1997). Mikoriza nedir? *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, 351: 92-95.
- [20] Erzurumlu, G.S. & Kara, E.E. (2014). Mikoriza Konusunda Türkiye’de Yapılan Çalışmalar. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 7 (2): 55-65.
- [21] Abdulhadi, S. A. A. (2017). Tuzlu toprak koşullarında çerezlik kabakta arbusküler mikoriza fungi uygulamalarının fide gelişmesine etkisi (Doctoral dissertation, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- [22] Akkemik, Ü., (2007). Dendroloji (dendroloji, odunsu bitkiler ve bitki materyali dersleri için). İstanbul Üniv. Orman Fak. *Orman Botaniği Anabilim dalı*. İstanbul.
- [23] Biçici, M. (2011). Bitki hastalık etmenleri ile biyolojik mücadelenin başarısını arttırmada mikoriza’nın rolü. *Türk. biyo. müc. derg.*, 1, 2 (2): 139-174 ISSN 2146-0035.
- [24] Altuntaş, Ö., Abak, K. & Daşgan, H.Y. (2015). Serada Biber Yetiştiriciliğinde Arbusküler Mikorhizal Fungus Kullanımının Bitki Gelişimi ve Verime Etkileri. *Selçuk Tar Bil Der.*, 2(2): 144-151.
- [25] Küçükyumuk, Z., Gültekin, M. & Erdal, İ. (2014). Vermikompost ve Mikorizanın Biber Bitkisinin Gelişimi ile Mineral Beslenmesi Üzerine Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 9 (1):51-58.
- [26] Palta, Ş., Lermi Genç, A. & Beki, R. (2016). The effect of different land uses on arbuscular mycorrhizal fungi in the northwestern Black Sea Region. *Environ Monit Assess*, 188: 350.
- [27] Mohammad, A., Mitra, B. & Khan, A. G. (2004). Effects of sheared-root inoculum of *Glomus intraradices* on wheat grown at different phosphorus levels in the field. *Agriculture, ecosystems & environment*, 103(1): 245-249.
- [28] Yılmaz, E. & Gül, A. (2009). Topraksız Ortama Arbusküler Mikoriza Aşılamanın Patlıcan (*Solanum melongena* L.) Yetiştiriciliği Üzerine Etkileri. *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(2): 55-61.
- [29] Demir, S. (2004). Influence of Arbuscular Mycorrhiza on Some Physiological Growth Parameters of Pepper. *Turk J Biol* 28: 85-90 © TÜBİTAK.
- [30] Öztürk, İ., Tort, BN.B & Tosun, N. (2006). Metalaxyl uygulamasının domatesin anatomik yapısı üzerine etkisi. *Ankara Üniv. Ziraat Fak. Tarım Bilimleri Derg.*, 12(1), 14-22.
- [31] Li, Y., Johnson, D.A., Su, Y., Cui, J. & Zhang, T. (2005). Specific leaf area and leaf dry matter content of plants growing in sand dunes. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 46, 127-134.
- [32] Ocak, E. & Demir, S. (2012). Toprak verimliliği ve bitki gelişimindeki peyniraltı suyu ve Arbusküler Mikorhizal fungus (AMF) ‘un önemi. *Yyü Tar Bil Derg.*, 22(1):48-55.

Tablo 1. Bitkide kök uzunluğuna (cm) ait tanıttıcı istatistik değerleri ve varyans analizi sonuçları

Fungusit Dozu	Mikoriza Var (n=3)					Mikoriza Yok (n=3)					Genel (n=6)				
	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma ($S_{\bar{X}}$)	Min.	Maks.	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma ($S_{\bar{X}}$)	Min.	Maks.	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma ($S_{\bar{X}}$)	Min.	Maks.
Kontrol	36.000	2.179	3.775	32.500	40.000	32.333	2.587	4.481	29.500	37.500	34.167	1.721	4.215	29.500	40.000
D/2	34.667	3.492	6.048	30.000	41.500	33.833	3.245	5.620	29.000	40.000	34.250	2.140	5.242	29.000	41.500
D	31.833	1.856	3.215	29.500	35.500	29.000	2.255	3.905	26.500	33.500	30.417	1.452	3.556	26.500	35.500
D*2	30.667	1.833	3.175	27.000	32.500	26.833	0.441	0.764	26.000	27.500	28.750	1.202	2.945	26.000	32.500
Genel (n=12)	33.292	1.222	4.234	27.000	41.500	30.500	1.307	4.528	26.000	40.000					
P-Değeri	Mikoriza:0.120 ; Doz:0.086 ; Mikoriza*Doz:0.919														

Tablo 2. Bitkide gövde uzunluğuna (cm) ait tanıttıcı istatistik değerleri ve varyans analizi sonuçları

Fungusit Dozu	Mikoriza Var (n=3)					Mikoriza Yok (n=3)					Genel (n=6)				
	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma (S_X)	Min.	Maks.	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma (S_X)	Min.	Maks.	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma (S_X)	Min.	Maks.
Kontrol	95.833	3.005	5.204	90.000	100.000	85.000	5.795	10.037	78.000	96.500	90.417B	3.793	9.292	78.000	100.000
D/2	97.500	1.258	2.179	95.000	99.000	101.333	0.441	0.764	100.500	102.000	99.417A	1.044	2.558	95.000	102.000
D	97.667	1.641	2.843	94.500	100.000	91.333	2.028	3.512	88.000	95.000	94.500AB	1.835	4.494	88.000	100.000
D*2	89.167	2.774	4.805	84.000	93.500	87.000	3.617	6.265	81.000	93.500	88.083B	2.095	5.132	81.000	93.500
Genel (n=12)	95.042	1.431	4.956	84.000	100.000	91.167	2.434	8.432	78.000	102.000					
P-Değeri	Mikoriza:0.086 ; Doz:0.009** ; Mikoriza*Doz:0.132														

** , istatistik olarak önemlidir (p<0.01)

Ortak harfi olmayan doz ortalamaları arasındaki farklılık istatistik olarak önemlidir (p<0.05)

Tablo 3. Yaprak yaş ağırlığına (g) ait tanıttıcı istatistik değerleri ve varyans analizi sonuçları

Fungusit Dozu	Mikoriza Var (n=3)					Mikoriza Yok (n=3)					Genel (n=6)				
	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma (S_X)	Min.	Maks.	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma (S_X)	Min.	Maks.	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma (S_X)	Min.	Maks.
Kontrol	1.996	0.165	0.286	1.669	2.204	1.807	0.236	0.408	1.426	2.238	1.902	0.135	0.332	1.426	2.238
D/2	1.992	0.160	0.277	1.693	2.238	1.725	0.198	0.343	1.472	2.115	1.858	0.129	0.315	1.472	2.238
D	1.987	0.221	0.382	1.547	2.232	1.642	0.125	0.217	1.443	1.873	1.814	0.137	0.336	1.443	2.232
D*2	2.060	0.173	0.300	1.715	2.261	1.737	0.265	0.459	1.207	2.003	1.898	0.159	0.389	1.207	2.261
Genel (n=12)	2.009	0.078	0.270	1.547	2.261	1.728	0.092	0.320	1.207	2.238					
P-Değeri	Mikoriza:0.061 ; Doz:0.967 ; Mikoriza*Doz:0.979														

Tablo 4. Yaprak kuru ağırlığına (g) ait tanıttıcı istatistik değerleri ve varyans analizi sonuçları

Fungusit Dozu	Mikoriza Var (n=3)			Mikoriza Yok (n=3)					Genel (n=6)						
	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma (S_X)	Min.	Maks.	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma (S_X)	Min.	Maks.	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma (S_X)	Min.	Maks.
Kontrol	0.422	0.054	0.093	0.322	0.506	0.390	0.077	0.133	0.290	0.541	0.406	0.042	0.104	0.290	0.541
D/2	0.448	0.044	0.077	0.367	0.521	0.345	0.038	0.066	0.300	0.421	0.397	0.035	0.086	0.300	0.521
D	0.450	0.033	0.058	0.416	0.516	0.327	0.030	0.052	0.279	0.383	0.388	0.034	0.083	0.279	0.516
D*2	0.413	0.029	0.051	0.356	0.454	0.333	0.057	0.098	0.220	0.399	0.373	0.034	0.083	0.220	0.454
Genel (n=12)	0.433	0.018	0.063	0.322	0.521	0.349	0.024	0.083	0.220	0.541					
P-Değeri	Mikoriza:0.024* ; Doz:0.916 ; Mikoriza*Doz:0.800														

*;istatistik olarak önemlidir (P<0.05)

Tablo 5. Spesifik yaprak alanına (dm²/g) ait tanıttıcı istatistik değerleri ve varyans analizi sonuçları

Fungusit Dozu	Mikoriza Var (n=3)					Mikoriza Yok (n=3)					Genel (n=6)				
	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma ($S_{\bar{X}}$)	Min.	Maks.	Ortalama a (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma ($S_{\bar{X}}$)	Min.	Maks.	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma ($S_{\bar{X}}$)	Min.	Maks.
Kontrol	0.940	0.062	0.108	0.820	1.030	0.827	0.165	0.285	0.550	1.120	0.883	0.083	0.203	0.550	1.120
D/2	0.897	0.038	0.065	0.830	0.960	0.850	0.050	0.087	0.750	0.900	0.873	0.030	0.073	0.750	0.960
D	0.963	0.087	0.150	0.790	1.050	1.000	0.145	0.251	0.850	1.290	0.982	0.076	0.186	0.790	1.290
D*2	0.880	0.121	0.209	0.640	1.020	1.093	0.089	0.154	0.990	1.270	0.987	0.082	0.201	0.640	1.270
Genel (n=12)	0.920	0.037	0.127	0.640	1.050	0.943	0.061	0.212	0.550	1.290					
P-Değeri	Mikoriza:0.763 ; Doz:0.566 ; Mikoriza*Doz:0.449														

Tablo 6. Yaprak Kütle Ağırlığı (g/dm²) ait tanıttıcı istatistik değerleri ve varyans analizi sonuçları

Fungisit Dozu	Mikoriza Var (n=3)			Mikoriza Yok (n=3)				Genel (n=6)							
	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma ($S_{\bar{X}}$)	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma ($S_{\bar{X}}$)	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma ($S_{\bar{X}}$)	Ortalama (\bar{X})	Std. Hata ($S_{\bar{X}}$)	Std. Sapma ($S_{\bar{X}}$)			
Kontrol	1.077	0.074	0.129	0.970	1.220	1.310	0.269	0.465	0.890	1.810	1.193	0.135	0.331	0.890	1.810
D/2	1.120	0.049	0.085	1.040	1.210	1.183	0.073	0.127	1.110	1.330	1.152	0.042	0.103	1.040	1.330
D	1.057	0.107	0.185	0.950	1.270	1.033	0.132	0.228	0.770	1.170	1.045	0.076	0.186	0.770	1.270
D*2	1.190	0.190	0.330	0.980	1.570	0.927	0.069	0.119	0.790	1.010	1.058	0.108	0.265	0.790	1.570
Genel (n=12)	1.111	0.053	0.182	0.950	1.570	1.113	0.080	0.278	0.770	1.810					
P-Değeri	Mikoriza:0.980 ; Doz:0.665 ; Mikoriza*Doz:0.377														