

e- ISSN:2458-7575

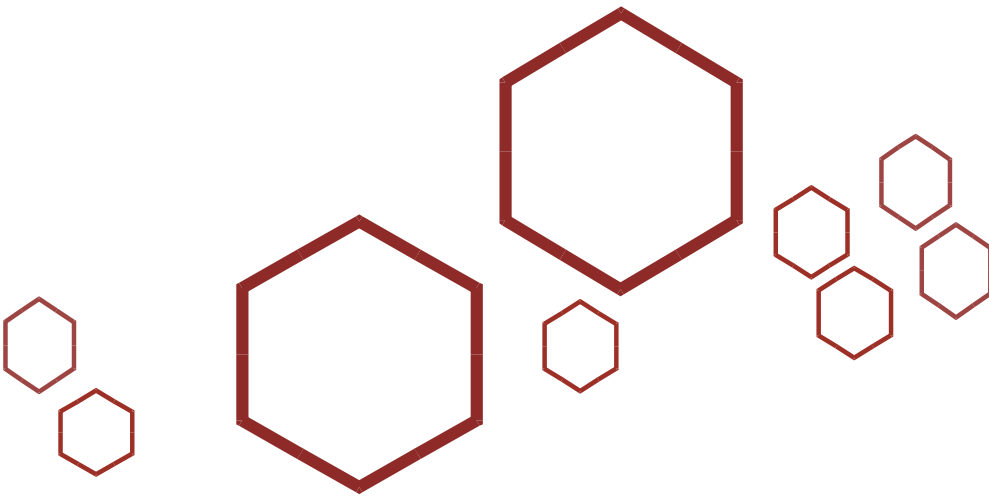
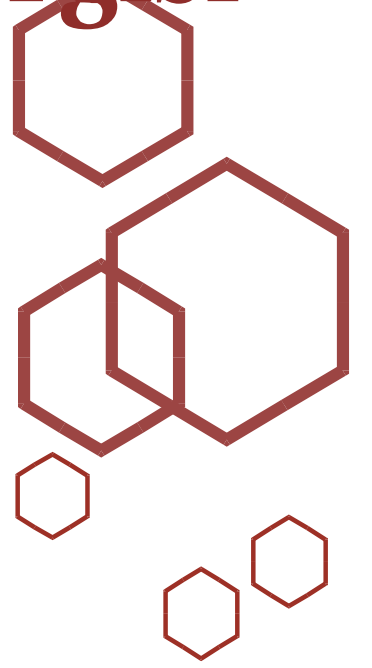
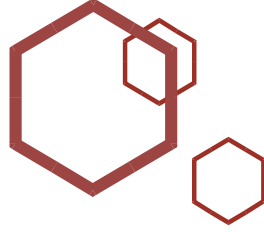


Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

Bilecik Şeyh Edebali University

Journal of Science



Sahibi / Publisher

Prof. Dr. Şükrü BEYDEMİR (Rektör / Rector)

Baş Editör / Editor in Chief

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

Editörler / Editors

Doç. Dr. Adem SARIHAN

Doç. Dr. Serpil MENTEŞE

Sekretarya / Secretariat

Arş. Gör. Damla KILIÇ ERİKGENOĞLU

Arş. Gör. Ezgi GÜLER

Arş. Gör. Kadriye Nurdanay ÖZTÜRK

Dil Editörü / Language Editor

Öğr. Gör. Dr. Ayça BAKINER

Alan Editörleri / Field Editors

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

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

Prof. Dr. Osman Zeki OKUYUCU (osman.okuucu@bilecik.edu.tr)
Matematik Bölümü, Fen Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

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

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

Doç. Dr. Adem KOÇYİĞİT (adem.kocyigit@bilecik.edu.tr)
Elektrik ve Otomasyon Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Doç. Dr. Fatih APAYDIN (fatih.apaydin@bilecik.edu.tr)
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Doç. Dr. Miraç ALAF (mirac.alaf@bilecik.edu.tr)
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Doç. Dr. Şenay BALBAY (senay.balbay@bilecik.edu.tr)
Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Doç. Dr. Tuğba YURDAKADİM (tugba.yurdakadim@bilecik.edu.tr)
Matematik Bölümü, Fen Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gülçin AKGÖREN PALABIYIK (gulcin.akgoren@bilecik.edu.tr)
Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Meryem GÖKTAŞ (meryem.goktas@bilecik.edu.tr)
Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Meslek Yüksekokulu, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Abdullah BİÇER (abdullah.bicer@bilecik.edu.tr)
Rektörlük, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi



SAHİBİ / PUBLISHER

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi adına Rektör Prof. Dr. Şükrü BEYDEMİR

Prof. Dr. Şükrü BEYDEMİR (Rector) on behalf of Bilecik Seyh Edebali University

BAŞ EDITÖR / EDITOR-IN-CHIEF

Prof. Dr. Murat ALANYALIOĞLU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 11230 Bilecik, Türkiye

Bilecik Seyh Edebali University, School of Graduate Studies, 11230 Bilecik, Turkey

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

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

İletişim Bilgileri / Contact Informations

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 11230 Bilecik, Türkiye

Bilecik Seyh Edebali University, School of Graduate Studies, 11230 Bilecik, Turkey

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

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

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

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

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

Hakem Listesi / Reviewer Board

- Prof. Dr. Akbar Tayebi / University of Qom / Department of Mathematics /
- Prof. Dr. Atike Nazik / Çukurova Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Jeoloji Mühendisliği Bölümü / Genel Jeoloji Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Ayşe Vildan Beşe / Atatürk Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Kimya Mühendisliği Bölümü / Kimyasal Teknolojiler Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Ayşegül Güney / Aksaray Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Jeoloji Mühendisliği Bölümü / Genel Jeoloji Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Bülent Çağlar / Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Kimya Bölümü / Fizikokimya Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Doğan Aydın / İzmir Katip Çelebi Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Elgiz Bayram / Ankara Üniversitesi / Fen Fakültesi / Matematik Bölümü / Fonksiyonlar Teorisi ve Fonksiyonel Analiz Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Fatih Başçıftçi / Selçuk Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Donanımı Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Funda Eryılmaz Açıkgöz / Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi / Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu / Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü / Seracılık Pr./
- Prof. Dr. Hacı Murat Yılmaz / Aksaray Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Harita Mühendisliği Bölümü / Fotogrametri Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Halis Bilgil / Kayseri Üniversitesi / Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi / Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü / Mühendislik Temel Bilimleri Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Mehmet Karaköse / Fırat Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Merih Palandöken / İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektro Manyetik Alanlar ve Mikrodalga Tekniği Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Mustafa Özgür Öteyaka / Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Eskişehir Meslek Yüksekokulu / Elektronik ve Otomasyon Bölümü / Mekatronik Pr./
- Prof. Dr. Mücteba Uysal / Yıldız Teknik Üniversitesi / İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Naif Geboloğlu / Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Bahçe Bitkileri Bölümü / Sebze Yetiştirme ve Islahı Anabilim Dalı/
- Prof. Dr. Nevzat Artık / Ankara Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Gıda Mühendisliği Bölümü/
- Prof. Dr. Şehabeddin Taha İmeci / Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Pr. /
- Prof. Dr. Ünal Geçgel / Trakya Üniversitesi / Arda Meslek Yüksekokulu / Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü / Kimya Teknolojisi Pr./
- Doç. Dr. Ali Bozdağ / Konya Teknik Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Jeoloji Mühendisliği Bölümü / Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Atakan Toprak / Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi / Çaycuma Gıda ve Tarım Meslek Yüksekokulu / Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü / Kimya Teknolojisi Pr./
- Doç. Dr. Aziz Barış Başyigit / Kırıkkale Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Üretim Metalurjisi Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Behçet Kocaman / Bitlis Eren Üniversitesi / Mühendislik-Mimarlık Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Kontrol ve Kumanda Sistemleri Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Ceren Gezer / Doğu Akdeniz Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Fakültesi / Beslenme ve Diyetetik Bölümü / Beslenme Ve Diyetetik Pr.
- Doç. Dr. Ferit Sönmez / Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Tohum Bilimi ve Teknolojisi Bölümü / Tohum Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Gülşah Öner / Atatürk Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Mekanik Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Halit Öztekin / Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. İsmail İnce / Konya Teknik Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Jeoloji Mühendisliği Bölümü / Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Mahmut Temel Özdemir / Fırat Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Oktay Yiğit / Fırat Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü / Malzeme Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Şirin Aktay / Eskişehir Teknik Üniversitesi / Fen Fakültesi / Matematik Bölümü / Topoloji Anabilim Dalı/

Hakem Listesi / Reviewer Board

- Doç. Dr. Üsame Demir / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Enerji Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Veysel Fuat Hatipoğlu / Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi / Fethiye İşletme Fakültesi / İşletme Bölümü / Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Yelda Aygar Küçükevcilioğlu / Ankara Üniversitesi / Fen Fakültesi / Matematik Bölümü / Fonksiyonel Analiz Anabilim Dalı/
- Doç. Dr. Yusuf Sümer / Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Yalçinkaya / Ankara Üniversitesi / Fen Fakültesi / İstatistik Bölümü / Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Anan Sondaş / Kocaeli Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü / Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Tarık Torun / Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi / Tapu Kadastro Yüksekokulu / Emlak ve Emlak Yönetimi Bölümü / Emlak ve Emlak Yönetimi Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Aylin Özodabaş / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Yapı Malzemeleri Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Burakhan Çubukçu / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Donanımı Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Burcu Kır Savaş / Kocaeli Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Donanımı Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Dicle Özdemir Küçükcapraz / Süleyman Demirel Üniversitesi / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi / Tekstil Mühendisliği Bölümü / Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Ezgi Bay Şahin / Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi / Mimarlık, Tasarım ve Güzel Sanatlar Fakültesi / Mimarlık Bölümü / Mimarlık Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Ferdi Doğan / Adıyaman Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Ferhat Atasoy / Karabük Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Bilgisayar Mühendisliği Bölümü / Bilgisayar Donanımı Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Feridun Karakoç / Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Gültekin Atalık / Amasya Üniversitesi / Amasya Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu / Muhasebe ve Vergi Bölümü / Muhasebe ve Vergi Uygulamaları Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Erdal / Ankara Üniversitesi / Fen Fakültesi / Matematik Bölümü / Fonksiyonel Analiz Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç Taşkın / Eskişehir Teknik Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Yapı Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Süleyman Yıldırım / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Söğüt Meslek Yüksekokulu / Bilgisayar Teknolojileri Bölümü / Bilgisayar Programcılığı Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Güleşen / Kütahya Dumlupınar Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Makine Teorisi ve Dinamiği Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Mustafa İlçin / Bingöl Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Bitki Koruma Bölümü / Entomoloji Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Üstüner / Artvin Çoruh Üniversitesi / Artvin Meslek Yüksekokulu / Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü / Harita ve Kadastro Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Mine Sungur / Selçuk Üniversitesi / Mimarlık ve Tasarım Fakültesi / İç Mimarlık Bölümü / İç Mimarlık Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Mithat Şimşek / Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi / Makine Mühendisliği Bölümü / Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Neşe Çakır / Marmara Üniversitesi / Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu / Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü / Laboratuvar Teknolojisi Pr./
- Dr. Öğr. Üyesi Serkan Ashyüce / Amasya Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi / Matematik Bölümü / Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı/
- Dr. Öğr. Üyesi Sibel Ünalı / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü / Elektronik Anabilim Dalı/

Hakem Listesi / Reviewer Board

Dr. Öğr. Üyesi Şerifenur Cebesoy Erdal / Çankırı Karatekin Üniversitesi / Fen Fakültesi / Matematik Bölümü / Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı/

Dr. Öğr. Üyesi Zehra Yıldız / Marmara Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Tekstil Mühendisliği Bölümü / Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı/

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Keskin / Doğuş Üniversitesi / Sanat ve Tasarım Fakültesi / İç Mimarlık Bölümü / İç Mimarlık Pr. /

Dr. Ayşe Çandar / Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi / Çiçekdağı Meslek Yüksekokulu / Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü / Tohumculuk Teknolojisi Pr./

Dr. Hüseyin Parmaksız / Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Rektörlük/

Dr. Mehmet Sarıkoç / Erciyes Üniversitesi / Rektörlük/

Dr. Mine Kurtay Yıldız / Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği

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

Dr. Müslüm Kaplan / Bartın Üniversitesi / Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi / Tekstil Mühendisliği Bölümü / Tekstil Makinaları Anabilim Dalı/

İÇİNDEKİLER

Araştırma Makaleleri / Research Articles

1	A Novel Deep Learning Approach to Malaria Disease Detection on Two Malaria Datasets <i>İbrahim Çetiner, Halit Çetiner</i>	254-272
2	Psikomotor Testlerine Hazırlık için Unity Oyun Motoru ile Yardımcı Sistem Tasarımı <i>Elif Kuruçay, Burakhan Çubukçu, Uğur Yüzgeç</i>	273-284
3	Hamamtepe (Çanakkale) Kuvars Ocağında Tespit Edilen Paleo-Mikroorganizmalara Ait İlk Bulgular: Ortam Yorumlarına Katkı <i>Hatice Ünal Ercan, Gönenç Göçmengil, Kübra Yayan</i>	285-294
4	Warped f-product Finsler Metrics <i>Semail Ülgen</i>	295-302
5	Bazı Anyonik Yüzeysel Aktif Maddelerin Şampuanlardaki Viskozite ve Köpürmeye Etkisi <i>İbrahim İsmet Öztürk, Nur Burçak Gök</i>	303-308
6	Kıvrımlı Şerit Elemanlarını Temel Alan Frekansı Ayarlanabilir Düzlemsel Evrilmiş-F Anten Tasarımı <i>Burçin Ramazan, Ahmet Rifat Görgün, Sıddık Cumhuri Başaran</i>	309-317
7	Dijital İkiz Oluşturmada Nokta Bulutlarına Dayalı Analiz <i>Abdurahman Yasin Yiğit, Murat Uysal</i>	318-329
8	Çelik Yapılarda Farklı Dolgu Duvar Tasarımlarının Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Deprem Analiz Yöntemleri ile Araştırılması <i>Muhammet Zeki Özyurt, Ömer Faruk Kadioğlu</i>	330-344
9	Çelikler için Yüksek Korozyon Dayanımına Sahip Vanadyum Nitrür Kaplamalar <i>Eray Abakay</i>	345-355
10	On Some Class of Normal Differential Operators for First Order <i>Rukiye Öztürk Mert</i>	356-362
11	Çaydaki Kafein Miktarına Farklı Demleme ve Analiz Şartlarının Etkisi <i>Cemile Yerlikaya</i>	363-372
12	Robust Versions of the Lower and Upper Possibilistic Mean - Variance Models for the One Period or Two Periods Cases <i>Furkan Gökteş</i>	373-382
13	Investigation of the Impact of Different Material Types on Quadcopter Ascension Performance <i>Serkan Kılıçteke, İhsan Şahin, Dilşad Akgümüş Gök, Serkan Gök</i>	383-394
14	Mimarlık Eğitiminde Yapı: “Yapı Teknolojisi ve Bilimi I” Dersinin Analizi <i>Gülçin Özen, Tuğçe Pekdoğan</i>	395-407
15	Elastik Yarı Düzlem İçin Bir Hareketli Yük Problemi <i>İpek Akkaya, Elçin Yusufoglu</i>	408-413

16	Enerji Depolamalı Bir Güneş Enerjisi Sisteminde Tepe Tıraşlama ile Yük Profiline İyileştirilmesi <i>İlker Dursun</i>	414-422
17	The Convergence of Some Spectral Characteristics on the Convergent Series <i>Elif Otkun Çevik</i>	423-429

Derleme Makaleleri / Review Articles

18	Tekstil Endüstrisinde Kullanılan İnkjet Baskı Mürekkepleri <i>Gökhan Erkan, Dilara Sevindik</i>	430-444
19	Acari'de Endosimbiont Bakteriler <i>Gizem Berber, Sibel Yorulmaz</i>	445-455
20	Bina ve İnşaat Teknik Tekstillerinde Güncel Uygulamalar <i>Semiha Eren, Aliye Akarsu Özenç</i>	456-464



Araştırma Makalesi - Research Article

A Novel Deep Learning Approach to Malaria Disease Detection on Two Malaria Datasets

İki Sıtma Veri Kümesinde Sıtma Hastalığı Tespitine Yönelik Yeni Bir Derin Öğrenme Yaklaşımı

İbrahim Çetiner^{1*}, Halit Çetiner²

Geliş / Received: 27/01/2022

Revize / Revised: 19/03/2023

Kabul / Accepted: 06/06/2023

ABSTRACT

Malaria is a contagious febrile disease transmitted to humans by the bite of female mosquitoes. It is important to diagnose this disease in a short period of time. Finding the mathematically best numerical solution to a particular problem is the most important issue for most departments. In deep learning-based systems developed, the difference between the real data and the predicted result of the model is measured using loss functions. To minimize the error rate in the predictions during the training process of deep learning models, the weight values used in the model should be updated. This update process has a significant effect on the model prediction result. This article presents a new deep learning-based malaria detection method that will help diagnose malaria in a short time. A new 21-layer Convolutional Neural Network (CNN) model is designed and proposed to describe infected and uninfected thin red blood cell images. By using thin red blood cell sample images, 95% accuracy was achieved with Nadam and RMSprop optimization techniques. The results obtained show the efficiency of the proposed method according to each optimization algorithm.

Keywords-Malaria, CNN, Optimization Algorithms, Classification

ÖZ

Sıtma, dişi sivrisineklerin ısırmasıyla insanlara bulaşan bulaşıcı bir ateşli hastalıktır. Bu hastalığın kısa sürede teşhis edilmesi önemlidir. Belirli bir probleme matematiksel olarak en iyi sayısal çözümü bulmak çoğu bölüm için en önemli konudur. Bu mantıkla geliştirilen derin öğrenme tabanlı sistemde, gerçek veriler ile modelin tahmin edilen sonucu arasındaki fark, kayıp fonksiyonları kullanılarak ölçülmektedir. Derin öğrenme modelinin eğitim sürecinde tahminlerdeki hata oranını en aza indirmek için modelde kullanılan ağırlık değerlerinin güncellenmesi gerekmektedir. Yapılan güncelleme işlemi, modelin tahmin sonucu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu makale, sıtmayı kısa sürede teşhis etmeye yardımcı olacak yeni bir derin öğrenme tabanlı sıtma sınıflandırma yöntemi sunmaktadır. Bu amaçla, 21 katmanlı yeni bir Konvolüsyonel Sinir Ağı (CNN) modeli önerilmiştir. Önerilen bu model enfekte ve enfekte olmayan ince kırmızı kan hücreleri görüntülerini sınıflandırmak için tasarlanmıştır. İnce kırmızı kan hücreleri numunesi görüntüleri kullanılarak, Nadam ve RMSprop optimizasyon teknikleri ile %95 doğruluk elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin her bir optimizasyon algoritmasına göre etkinliğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler- Sıtma, CNN, Optimizasyon Algoritmaları, Sınıflandırma

^{1*}Corresponding Author Contact: icetiner@mehmetakif.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-1635-6461>)
Mechatronic, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Vocational School of Technical Sciences, Burdur, Turkey

²Contact: halitcetiner@isparta.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7794-2555>)

Computer Technology, Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical Sciences, Isparta, Turkey

I. INTRODUCTION

Malaria is a disease that occurs with the effect of the Plasmodium gene genus, threatening human health and causing death [1]. Malaria infection is transmitted to humans by a female Anopheles mosquito infected with Plasmodium parasites. When this mosquito bites a person, it injects the infected Plasmodium parasites into the person it bites. After this injection procedure, red blood cells are affected as a result of a parasitic chromosome of the genus Plasmodium [2]. There are also different species of the Plasmodium genus such as *P.falciparum*, *P.vivax*, *P.malariae*, *P.ovale* and *P.knowlesi* [3]. To prevent malaria, it is essential to detect the disease early before it progresses too much. If detected early, it is possible to respond to treatment and prevent it.

According to studies conducted by the World Health Organization (WHO) [4], 69,000 deaths occurred worldwide between 2019 and 2020 due to malaria infection. Furthermore, 14 million malaria cases have been reported in the last year. Diagnosis of malaria, which is threatened by WHO, can be made using various methods. In one of these methods, a visual examination of a thin and thick blood smear is performed with a microscope. The diagnosis method obtained at the end of the specified examination is called the traditional method [3]. Diagnosis with conventional microscopy, which is used in the classical method, is a time-consuming method. In addition, the accuracy of the diagnosis is largely dependent on the specialist using the microscope [5, 6]. Light microscope is used in another diagnostic method. Using the specified microscope to detect different types of malaria disease is called the gold standard method. In this method, thin and thick Giemsa stained blood smears can be examined by magnifying the image tens of times, such as 10x or 100x, with the ocular lens magnification feature of the microscope [7].

Blood smear reports state that any person can be affected by more than one malaria infection at the same time. Plasmodium genus has different species, *P.falciparum*, *P.vivax*, *P.malariae*, *P.ovale* and *P.knowlesi*, which requires thorough examination of blood smears in malaria screening [8]. From blood smears used for malaria parasite detection, 6050 nonoverlapping fields of view occur for a 2x1 cm sample at 1000 times magnification [9]. Due to these reasons, the diagnosis of malaria takes a lot of time. In a voluminous sample that includes different species, it is stated by the experts who examine the sample that making a diagnosis is an extremely tiring task that can cause distraction [10]. In addition, malaria cases are affected by changes in weather conditions. As a result of these changes, malaria, which is contagious, can increase rapidly. New systems are needed to accelerate diagnosis, as well as enough specialist personnel to prevent the spread of cases and ensure rapid control [11]. Delays in diagnosis can increase the severity of the disease and cause great cost to society.

Many researchers in the literature use classical machine learning techniques consisting of image segmentation, feature extraction, and classification steps [12,13]. The malaria diagnosis method based on computer vision consists of steps such as pre-processing, segmentation of objects in the image, feature extraction, and classification [14]. The most difficult process in diagnosing malaria based on the classical machine learning technique and computer vision is stated to be the feature extraction step. In this step, it is emphasized that it is important to determine the regions containing disease symptoms on the microscopic image and to determine an appropriate algorithm to map their features [15]. Identifying significant, distinctive features from the relevant region in the image directly affects the classification accuracy. Due to the difficulties in diagnosing malaria by observation, researchers have turned to develop new methods. As a result of these orientations, a research field called computer-aided detection (CAD) has been created that facilitates medical imaging of malaria cells. The main purpose of the CAD imaging systems specified is to provide malaria specialists with important ideas for the early and accurate diagnosis of malaria cells [10]. In recent studies on malaria, it is stated that models that can learn through experience like humans are deep learning models [9]. At this point, CNN-based methods are a deep learning approach that can learn through experience. In this article, unlike the deep learning models in the literature, the best combination of deep learning layers and thousands of layers and models that develop based on deep learning architectures such as ImageNet, which consists of millions of pre-trained data, have been obtained as successful as the models [16–19]. At the same time, the results obtained as a result of training the proposed deep learning model with different optimization algorithms are shared. Vijayalakshmi and Rajesh made changes to the upper layers by freezing the lower layers of the VGG19 pre-trained deep learning model [9]. In the work carried out, the features extracted with the VGG19 architecture were classified with the SVM algorithm. A success rate of 93.1% has been achieved in the classification of malaria disease.

To overcome the above-mentioned difficulties, the convolutional layer model, which is very popular recently and can be used to extract the features of malaria, is proposed. The convolution layer is one of the basic layers of Convolutional Neural Network (CNN) architectural models. Through this layer, it is possible to use windows in malaria images to allow filters of different window sizes to navigate over the image. As a result of the specified navigations, feature maps with distinctive features are created.

The main contributions to the literature in this article are given below.

- A CAD system is proposed that can accurately diagnose malaria cells at an early stage, using the powerful feature extraction capabilities of convolutional layers.
- This CAD system consists of a deep learning model proposed to assist experts.
- With the proposed deep learning model has been presented, a model that assists experts in performing automatic classification of malaria disease.
- With the proposed model, it is aimed to reduce the costs of diagnosis by reducing the difficulties experienced in the diagnosis of malaria.
- To fully evaluate performance result of the proposed model, training and testing processes were performed with optimization methods named Adam, Adamax, SGD, RMSprop, Adadelata, Adagrad, Nadam, and Ftrl, and the results were given.
- The CNN model proposed in this article is as successful as the models that develop based on deep learning architectures that consist of thousands of layers and millions of pre-trained data such as ImageNet.

The next part of the article consists of three sections. In Section 2, information is given about the data set and performance measurement techniques used in the article. In Section 3, the proposed deep learning model for malaria disease classification and the results obtained from different optimization algorithms are presented. In the last section, the net result obtained as a result of the study analysis is presented.

II. MATERIAL AND METHOD

A. Material

This article uses two datasets of infected and non-infected red blood images of general malaria. The first dataset was created by researchers working at the Lister Hill National Biomedical Communication Center contact center [20, 21]. Collected blood smears were viewed with the help of the built-in camera of an Android phone at Chittagong Medical Hospital in Bangladesh [22]. The second data set was obtained as a result of manual segmentation from cell images of plasmodium falciparum, plasmodium malariae, plasmodium ovale, plasmodium vivax malaria species [23]. Both datasets have a total of 30,000 images.

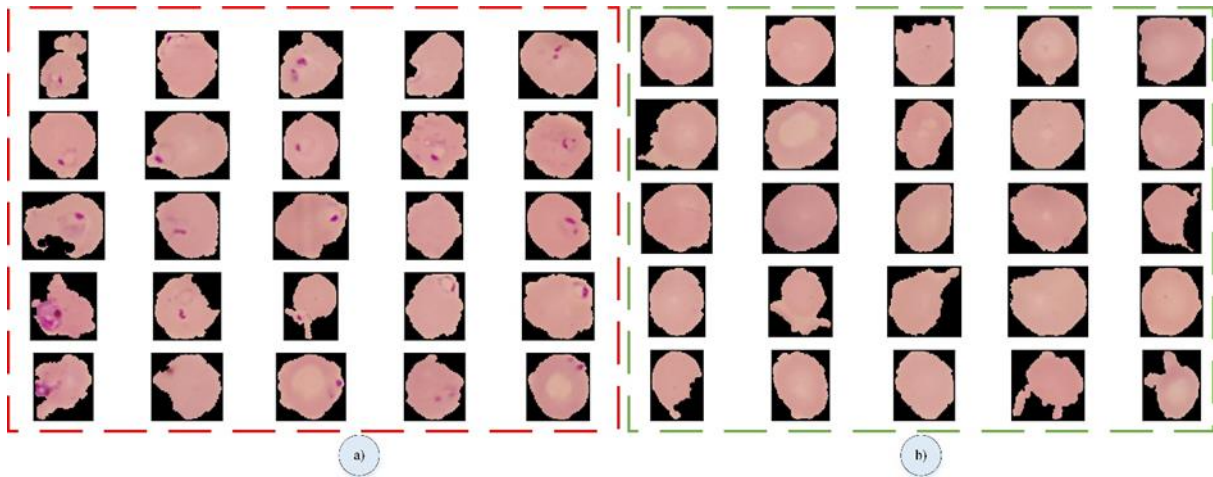


Figure 1. Number of red thin blood cell images in the data set by type: a) Parasitized, b) Uninfected

The numerical distributions of the blood cells in the data set used to evaluate the training and test results with the different optimization methods of the proposed model are shown in Figure 1. The data set used consists of two different classes, infected and uninfected, as shown in Figure 1. Class distribution numbers are the same. There is no data imbalance. The images in the data set can be given as direct input to the proposed model or by passing some pre-processing. Some pre-processing has been applied on the image due to its positive contribution to the performance of the model. The applied pre-processes consist of resizing and data duplication steps, respectively. In the resizing step, all training and test images were resized to 64x64. In the data augmentation step, data augmentation was performed using steps such as enlarging, rotating and zooming on the image. With these processes, the aim is to classify the malaria images of the proposed model from all angles and distances.

B. Hyperparameter Settings

The set of parameters that will affect the training and test results with different optimization techniques of the proposed CNN model within the scope of this study is called hyperparameter. These parameters are regulatory parameters such as image size, number of steps, number of sections, learning rate, and optimization method. As a result of different experimental studies, the images used in all model training and testing processes were determined as 64x64 with three channels, the number of epochs 50, and the number of batch sizes 12. The epoch value was determined according to the fact that the accuracy value did not increase and remained constant. The batch size value is set to 12, indicating the number of images processed before updating the model. The accuracy values obtained as a result of testing different learning rate and batch size values are presented in Table 1. The highest accuracy value of 91% was achieved in the test results performed with batch size 12 and learning rate 1e-1 values. The highest accuracy values of 89% were achieved in 64 batch size and 1e-5 learning rate values. For the stated reasons, experimental studies were carried out by choosing 1e-5 as the learning rate and 12 as the batch size value. Compared to the Vijayalakshmi and Rajesh [9] transfer learning based study, different performance results are obtained in the CNN or transfer learning based models. At the same time, when a model with different hyperparameter values is tested, changes in performance results occur.

Table 1. Experimentally tested hyperparameters and results

Batch size	Learning rate	Optimization Techniques	Type	Accuracy
12	1e-1	Nadam	Parasitized	0.91
12	1e-1	Nadam	Uninfected	0.91
12	1e-1	RMSprop	Parasitized	0.91
12	1e-1	RMSprop	Uninfected	0.91
12	1e-1	Adam	Parasitized	0.90
12	1e-1	Adam	Uninfected	0.90
64	1e-5	Nadam	Parasitized	0.89
64	1e-5	Nadam	Uninfected	0.89
64	1e-5	RMSprop	Parasitized	0.89
64	1e-5	RMSprop	Uninfected	0.88
64	1e-5	Adam	Parasitized	0.88
64	1e-5	Adam	Uninfected	0.88

In addition to these, training processes were carried out with eight different optimization methods to determine the effect of optimization methods on the performance of the proposed model. The optimization methods used are Adam, Adamax, SGD, RMSprop, Adadelta, Adagrad, Nadam and Ftrl, respectively. Training and testing results of different hyperparameters and optimization techniques are presented in Section 3. As a method, a proposed CNN-based model provides the automatic extraction of distinctive features. In classical machine learning algorithms, subjective and meaningless features cause low classification accuracy. For this reason, the CNN-based method, which provides reliable results in method selection, was preferred.

C. Performance Evaluation Criteria

The machine used in the experimental studies was a G15 5515 Amd Ryzen 7 5800H 16GB 512GB SSD RTX3060 Windows 10 Home 15.6 FHD Portable Dell computer and the images were processed in Graphics Processing Unit (GPU) mode. Implemented in CUDA version 11.4 with Keras libraries using Tensorflow-GPU. Accuracy, precision, F1 score, and recall measurement formulas were used to evaluate the performance of the proposed method [24].

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

In Equation 1 and beyond, TP defines the number of malaria blood cell samples that can be correctly classified, while FP defines the number of malaria blood cell samples that are misclassified. TN, on the other hand, defines the number of malaria blood cell samples correctly classified from other classes. FN represents the number of malaria blood cell samples misclassified from other classes under observation. The ratio of the malaria blood cell class classified as positive in Equation 2 and correctly predicted to the total number of positive malaria blood cells is called recall. The recall formula identifies the correct classes that the model finds. The higher the recall, the higher the number of correctly classified malaria blood cells. The malaria blood cell class found incorrectly in the recall equation is not of interest. However, recall results are required to understand whether all positive malaria blood cells in the model are classified correctly.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

Precision is defined as the ratio of TP to the total number of malaria blood cells predicted as TP and positive. If some of the negative malaria blood cells are classified as positive, it is necessary to obtain a result from the precision equation to determine this. The precision formula is given in Equation 3.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \tag{3}$$

The F1 score is the weighted harmonic mean of the results obtained from the recall and precision equations. The equation presented in Equation 4 is used to measure the balance between recall and precision. If the F1 score is close to one, it means that a small number of low errors have formed a model.

$$F1 = 2x \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \tag{4}$$

In this study, all specified performance criteria were used to correctly evaluate the performance of the proposed methods. In addition to the performance measurements used, the loss and accuracy results are given graphically. In addition, the confusion matrix obtained from the models is presented under the heading of each optimization technique. The results of each optimization technique obtained from the CNN model are given according to the equations between Equations 1-4.

D. The Proposed CNN Model for Malaria Disease Classification

Today, deep learning, which is gaining popularity in the field of image classification, can offer solutions to different problems. In this article, a system for the classification of malaria disease, which causes thousands of people to die inexorably every year, is proposed. The proposed system consists of 21 layers. Layers are designed to have the specified properties one after the other.

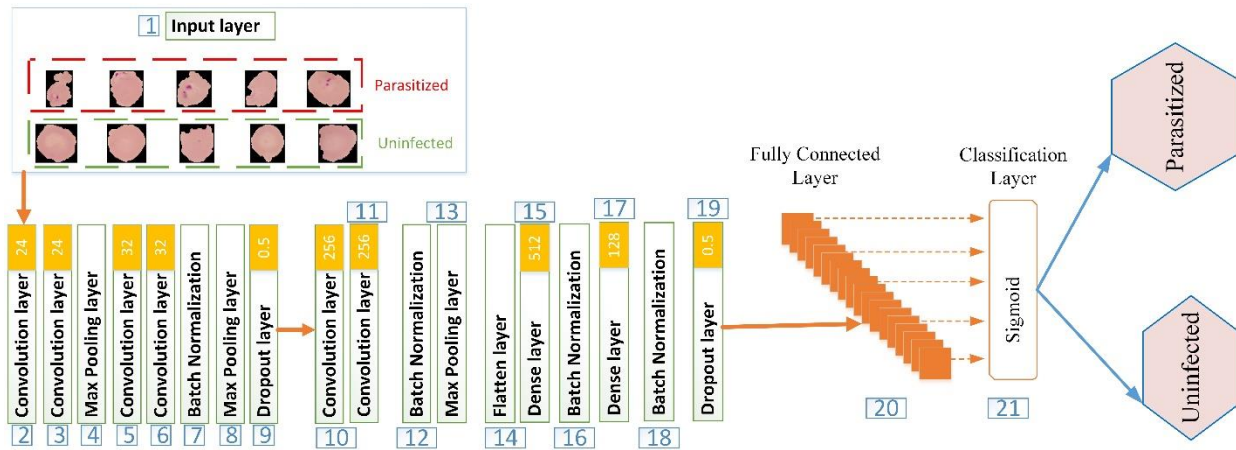


Figure 2. Proposed CNN model

Basic preprocessing is passed before the image is input to the proposed model. Most importantly, all of the training and test images should be brought to 64x64 width and height dimensions. In this way, the image dimensions are brought to the same format. As all images have three color channels, the pixel values of each image are divided by 255 values, enabling fast processing. After these basic pre-processes, the image is presented as an input to the proposed model shown in Figure 2 for training operations. Images with width and height of 64x64 are taken as input to the model in the first layer. In the second layer, a convolution layer with 24 filters and 5x5 window size ReLU activation function has been added. In the third layer, a second convolution layer with the features in the second layer is subsequently defined. The default maximum pooling layer has been added in the fourth layer. In the fifth and sixth layers, two interconnected layers with 32 filters with SeLU activation function in 5x5 window sizes are defined. In the seventh layer, the Batch Normalization layer has been added, which performs inter-layer normalization. The default maximum pooling layer has been added in the eighth layer. In the ninth layer, the dropout layer, which performs 0.5 neuron dropout, is defined to prevent overfitting. In the tenth and eleventh layers, two interconnected layers with 256 filters with SeLU activation function in 5x5 dimensions are defined. In the twelfth layer, Batch Normalization, which performs normalization between layers, is applied. The maximum pooling layer defined by default in the thirteenth layer has been implemented. In the fourteenth layer, the feature map obtained from the convolution layers is transformed into a one-dimensional vector. In the fifteenth layer, a dense layer with 512 neurons SeLU activation function has been added. In the sixteenth layer, the Batch Normalization layer is defined, which performs the inter-layer normalization. In the seventeenth layer, a dense layer with 128 neurons SeLU activation function is defined. With this layer, neurons are strengthened. Batch Normalization, which provides normalization between layers, is defined in the eighteenth layer. In the nineteenth

layer, the dropout layer, which provides a loss of 0.5 neurons, was applied. In the twentieth layer, the fully connected layer is defined, which prepares the model for the learning process. In the twenty-first layer, a classification layer with a two-output sigmoid activation function is defined.

In Figure 2, the layers, layer order and parameters in the proposed model are presented in detail. The parameters used were determined as a result of experimental studies. Convolution and dense layers, which are given as layers, have a high effect on obtaining results at a level that can compete with the studies in the literature.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Finding the best numerical solution to a mathematical problem is the most important task in most departments. Mathematically, loss functions are used to measure the inaccuracy of our estimates. This loss function has an important role in the decision about fine-tuning and changing the parameters (weights) of our model to minimize the training process of the models. This has a significant effect on getting our estimate closer to the accuracy. In this sense, the optimizers deal with the weights for the loss function and ensure that our model is formatted in the most accurate way. Optimizers is an algorithm that checks for loss functions. The selection of the optimization algorithm is one of the most important design decisions in deep learning, and making this decision is very important to improve learning performance. In this sense, with the proposed model, which of the different optimization methods will lose the least has been obtained by experimental studies. During the experimental studies, the optimization methods Adam, Adamax, SGD, RMSprop, Adadelata, Adagrad, Nadam, and Ftrl with the proposed model were tested, respectively. Except for the optimization method, other hyperparameters remain constant. Therefore, when comparing model results, the difference between Adam, Adamax, SGD, RMSprop, Adadelata, Adagrad, Nadam, and Ftrl is mentioned in detail. In this section, the obtained results from each optimization method and the proposed model are presented. The optimization methods used and the comparisons of the proposed model among themselves and the comparison results according to different studies using the same data set in the literature are given.

The results of the training performance obtained in the optimization methods used are shown in Figure 3. When Figure 3 is examined, it is determined that the results of each optimization method are different from each other. The training accuracy graphs of the optimization methods are given in Figure 3a and the loss graphs in Figure 3b. According to these graphs, it has been seen that Nadam, Adam and RMSprop are more successful than other optimization methods. The success of Adamax is lower than those of Nadam, Adam and RMSprop. Since the RMSprop optimization method is more successful in nonparasitic cells than Adamax, the accuracy rate is higher.

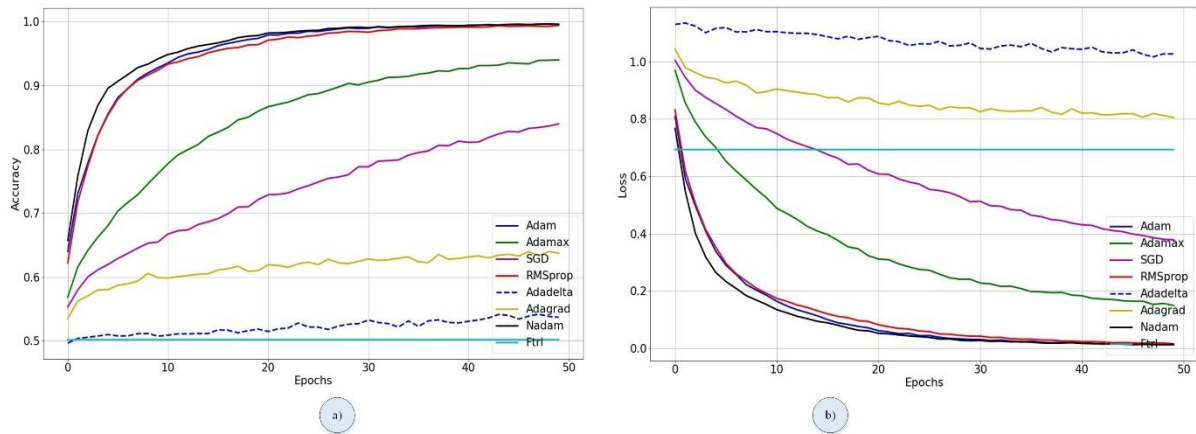


Figure 3. Training graphs of the proposed CNN model with optimization techniques a) accuracy and b) loss

In Figure 4, the obtained test results with the optimization methods of the proposed CNN model are shown. Taking into account the test results, there are differences between each optimization method. The test results have given a parallel result to the training results.

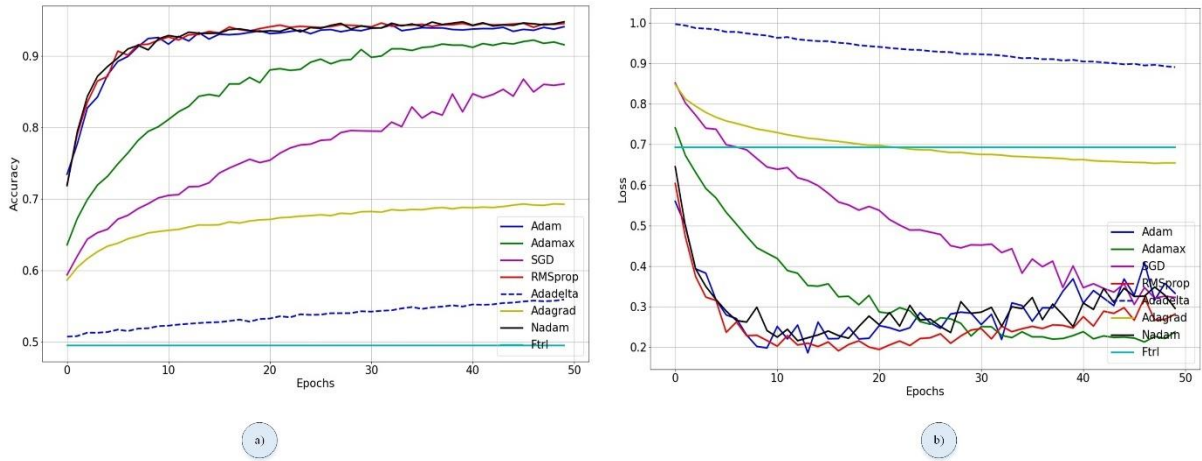


Figure 4. Test graphs of the proposed CNN model with optimization techniques a) accuracy and b) loss

Figure 3 and Figure 4 show the accuracy and loss graphs for the training and testing processes of the proposed model in Figure 2. In addition to these, confusion matrices were created in order to examine the performance results of test data not used in training in more detail. These generated matrices are shown in Figure 5 to Figure 12. In the rest of this section, the detailed results of the Adagrad, RMSprop, Adadelata, SGD, Ftrl, Adam, Adamax, and Nadam optimization methods are given, whose training and test results are given above.

A. AdaGrad

In the AdaGrad optimization method, the sums of the partial derivatives of the parameters are taken into account. These sums of partial derivatives are values proportional to the mean square slope [25]. A_i , i . represented as the sum of the parameterized values. Weight values are updated as in Equation 6 in each operation.

$$A_i \leftarrow A_i + \left(\frac{\partial L}{\partial w_i}\right)^2 \forall i \tag{5}$$

$$w_i \leftarrow w_i - \frac{\alpha}{\sqrt{A_i}} \left(\frac{\partial L}{\partial w_i}\right); \forall i \tag{6}$$

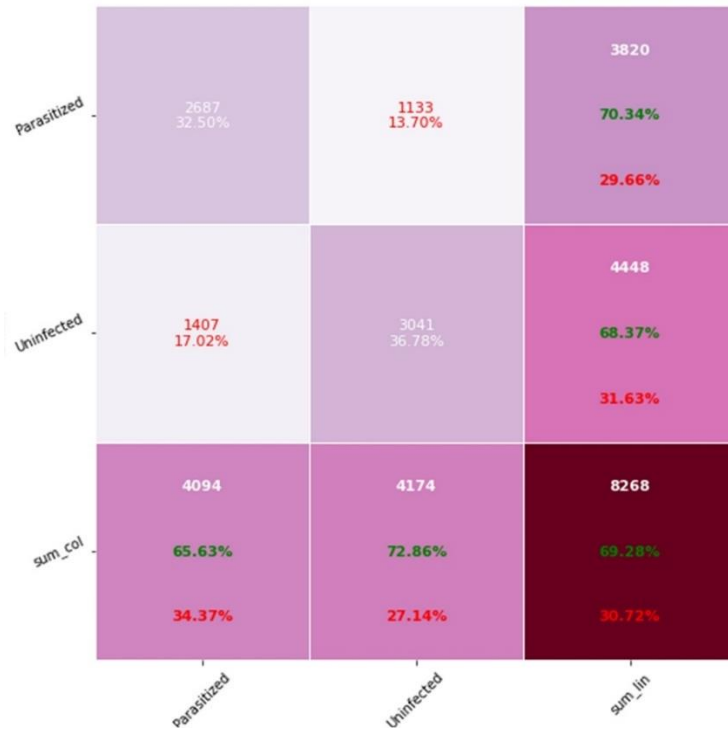


Figure 5. Adagrad optimization technique confusion matrix of the proposed CNN method

The obtained performance results with the Adagrad optimization technique used in training the proposed CNN method to detect the parasite-infected cells are shown in Figure 5. According to the confusion matrix shown in this figure, parasitic cells could be classified with a success rate of 70%, while cells without parasites are classified with a success rate of 68%. With the Adagrad optimization technique, 1133 of 13,779 cells with noise in 27,558 images are misclassified. In this case, the loss rate of the proposed system in this technique is determined to be 13.70%. Out of 13,779 parasite-free cells, 1407 were misclassified by the adagrad-optimized model. The loss rate is determined at 17.02%.

B. RMSprop

The RMSprop optimization method is similar to the Adagrad optimization method in that it uses the A_i value, which indicates the total magnitude of the gradients. Unlike the AdaGrad optimization method, it uses the exponential mean instead of estimating the A_i values. The RMSprop method, which is one of the optimization methods commonly used in deep learning models, t . weights the square of the partial derivatives that occur before the update by the p^t value. It uses the $\rho \in (0,1)$ bias value to avoid possible error situations. The update of the A_i value showing the total magnitude of the gradients is given in Equation 7 [25].

$$A_i \leftarrow \rho A_i + (1 - \rho) \left(\frac{\partial L}{\partial w_i} \right)^2 \forall i \quad (7)$$

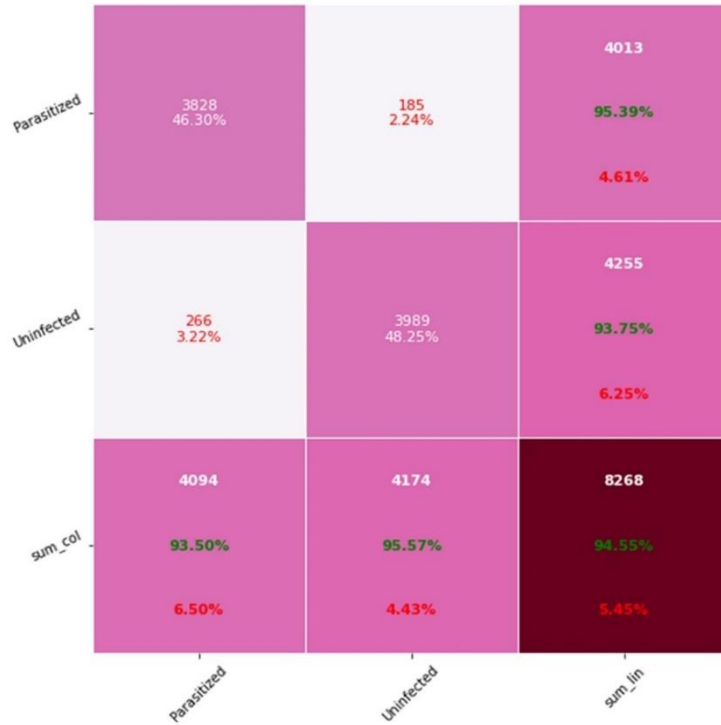


Figure 6. RMSprop optimization technique confusion matrix of proposed CNN method,

The performance results obtained with the RMSprop optimization technique used in training the proposed CNN method to detect the parasite-infected cells are shown in Figure 6. According to the confusion matrix shown in this figure, parasitic cells could be classified with a success rate of 95%, while cells without parasites are classified with a success rate of 94%. With the RMSprop optimization technique, 185 of 13,779 cells with noise in 27,558 images are misclassified. In this case, the loss rate of the proposed system using this technique was determined at 2.24%. Out of 13,779 parasite-free cells, 266 were misclassified with the RMSprop optimized model. The loss rate is determined as 3.22%.

C. AdaDelta

AdaDelta optimization method is similar to RMSprop optimization algorithm. Unlike the RMSprop algorithm, it does not need learning parameters [25]. Equation 9 shows the weight update of the RMSprop algorithm.

$$w_i \leftarrow w_i - \underbrace{\frac{\alpha}{\sqrt{A_i}} \left(\frac{\partial L}{\partial w_i} \right)}_{\Delta w_i} \quad (9)$$

The α parameter changes depending on the updates. The increase in w_i creates the difference value Δw_i . This process occurs with every weight update. Equation 10 holds the exponentially corrected δ_i value of the ρ parameter and the difference weight value Δw_i . These operations are as in A_i .

$$\delta_i \Leftarrow \rho \delta_i + (1 - \rho)(\Delta w_i)^2 \quad (10)$$

Calculating the δ_i value allows new iterations to be made. The value of A_i can be calculated using the partial derivative in the iteration process. The difference in the calculations of A_i and δ_i creates Equation 11.

$$w_i \Leftarrow w_i - \underbrace{\sqrt{\frac{\delta_i}{A_i}}}_{\Delta w_i} \left(\frac{\partial L}{\partial w_i} \right) \quad \forall i \quad (11)$$

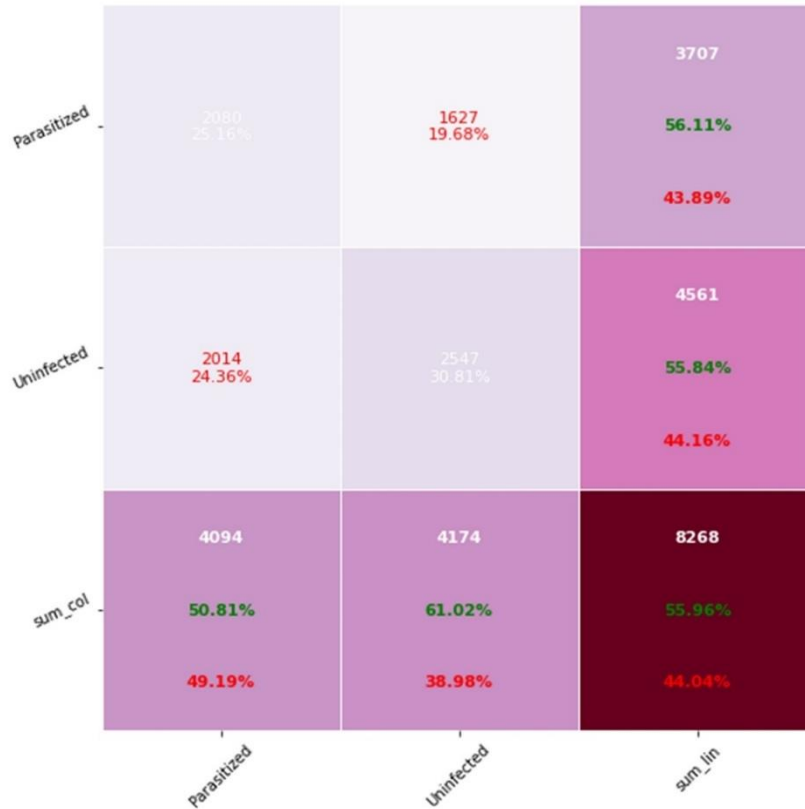


Figure 7. Adadelta optimization technique confusion matrix of proposed CNN method

The performance results obtained with the Adadelta optimization technique used in training the proposed CNN method to detect the parasite-infected cells are shown in Figure 7. According to the confusion matrix shown in this figure, parasitic cells could be classified with a success rate of 56.11%, while cells without parasites are classified with a success rate of 55.84%. With Adadelta optimization technique, 1627 of 13,779 cells with noise in 27,558 images are misclassified. In this case, the loss rate of the proposed system in this technique is determined to be 19.68%. Out of 13,779 parasite-free cells, 2014 were misclassified with the AdaDelta optimized model. The loss rate is determined at 24.36%.

D. SGD

The objective function used in deep learning is the average of the loss functions for each sample in the training dataset [26]. According to the equation in Equation 12, given a data set with n samples, the parameter vector x is i . with respect to the training example $f_i(x)$ represents the loss function. With this equation, the objective function $f(x)$ is calculated in Equation 12.

$$f(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i(x) \quad (12)$$

The gradient of the objective function in the x parameter vector can be calculated by Equation 13.

$$\nabla f(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \nabla f_i(x) \quad (13)$$

Stochastic gradient descent (SGD) reduces the cost of gradient descent at each iteration, which increases as the training data set grows. In order to update the x value in Equation 14, the difference gradient value $\nabla f_i(x)$ is calculated.

$$x \leftarrow x - \eta \nabla f_i(x) \quad (14)$$

The parameter η defined in Equation 14 is the learning rate. In this equation, it can be seen that the cost value decreases with each iteration. In Equation 15, a stochastic gradient calculation is performed for estimation of $\nabla f(x)$ value. The stochastic gradient value is function $\nabla f_i(x)$.

$$\mathbb{E}_i \nabla f_i(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \nabla f_i(x) = \nabla f(x) \quad (15)$$

Optimization happens everywhere. Machine learning is an example, and gradient descent is probably the most famous algorithm for performing optimization. Optimization means finding the best value of a function or model. This can be a maximum or minimum according to some criteria [25]. SGD is an optimization algorithm that follows the negative gradient of an objective function to find the minimum of the function used.

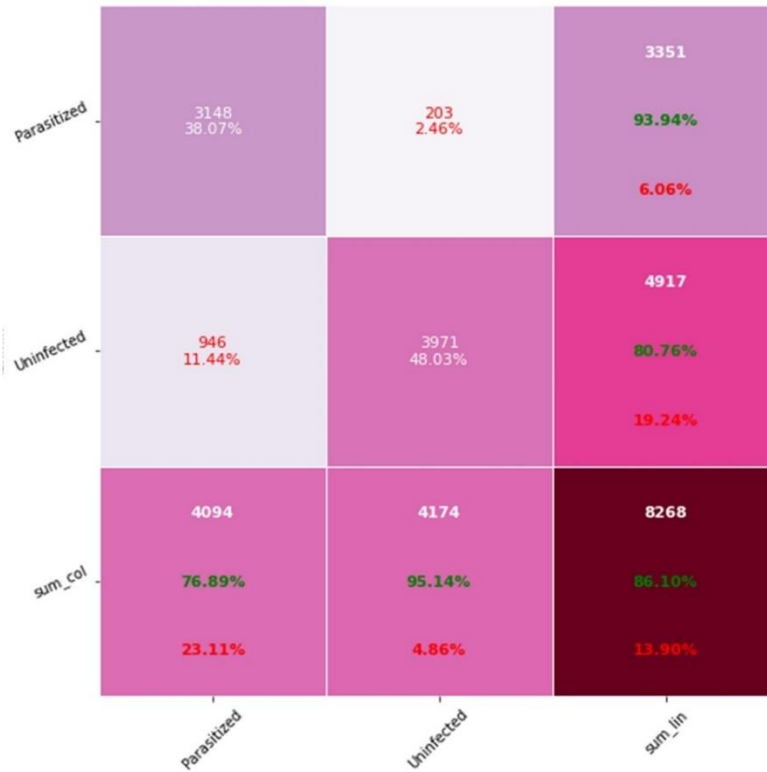


Figure 8. SGD optimization technique confusion matrix of proposed CNN method

The performance results obtained with the SGD optimization technique used in training the proposed CNN method to detect the parasite-infected cells are shown in Figure 8. According to the confusion matrix shown in this figure, parasitic cells could be classified with a success rate of 94%, while cells without parasites are classified with a success rate of 81%. With the SGD optimization technique, 203 of 13,779 cells with noise in 27,558 images are misclassified. In this case, the loss rate of the proposed system in this technique is determined to be 2.46%. Out of 13,779 parasite-free cells, 946 were misclassified with the SGD optimized model. The loss rate is determined as 11.44%.

E. Ftrl

Ftrl or Ftrl-proximally [27] is short for follow the (proximally) regularized leader. The algorithm was used by [18] due to its ability to handle larger data sets and larger models. The aim of the algorithm is to get both sparsity and improved accuracy on predictions from the standard SGD, and has shown to do so with minimum computing resources. Ftrl is SGD with regularization and is defined as [28].

$$\theta_{t+1,i} = \arg \min(g_{1:t,i}\theta_i + t\lambda \|\theta_i\|_1 + \frac{1}{2} \sum_{s=1}^t \sigma_s \|\theta_i - \theta_{s,i}\|_2^2) \quad (16)$$

The first term ($g_{1:t,i}\theta_i$) of the update is an approximation to the objection function, second term ($t\lambda \|\theta_i\|_1$) is a non-smooth convex function and the last term ($\frac{1}{2} \sum_{s=1}^t \sigma_s \|\theta_i - \theta_{s,i}\|_2^2$) is an additional strong convexity. Here, $\sigma_s^t = \frac{1}{\eta_t}$ and are generalized learning rates, while $\lambda > 0$ induces sparsity in the way zero features and less important features are removed.

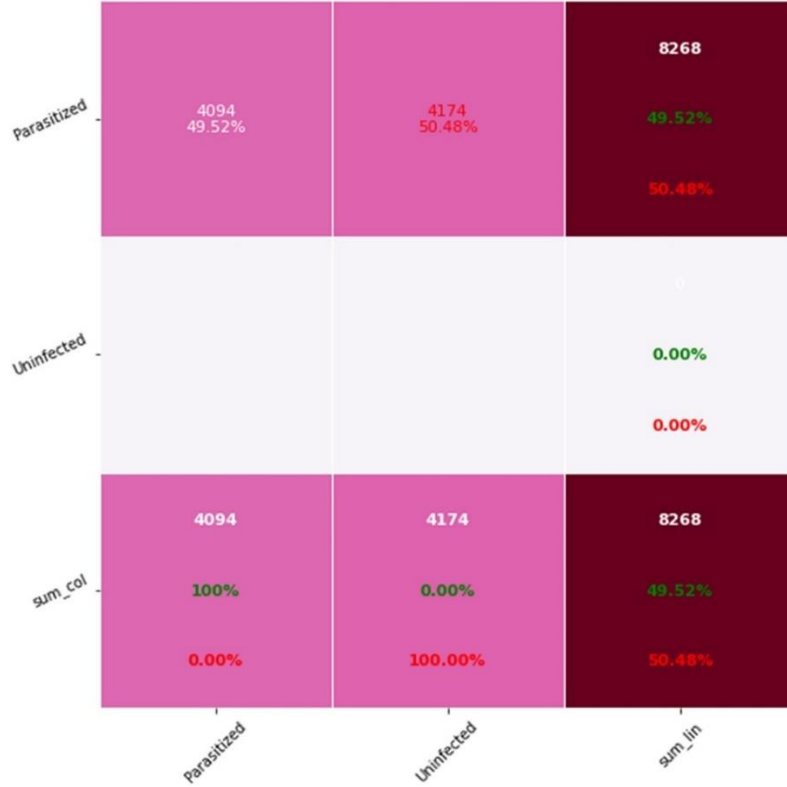


Figure 9. Ftrl optimization technique confusion matrix of the proposed CNN method

The performance results obtained with the Ftrl optimization technique used in training the proposed CNN method to detect the parasite-infected cell are shown in Figure 9. According to the confusion matrix shown in this figure, parasitic cells could be classified with a success rate of 50%, while cells without parasites were classified with a rate of 00%. The Ftrl optimization method did not study in the classification of parasite-free cells. With the Ftrl optimization technique, 4174 of 13,779 cells with noise in 27,558 images were misclassified. In this case, the loss rate of the proposed system in this technique was determined to be 50.48%. Out of 13,779 parasite-free cells, 13,779 were misclassified with the Ftrl optimized model. The loss rate was determined to be 100%.

F. Adam

Adam optimization method uses noise normalization similar to AdaGrad and RMSProp algorithms [25]. Flattens the first-order gradient to incorporate momentum into the update. The smoothed error is addressed when the smoothed value is initialized to 0. In Equation 17, the value of A_i is the i of the w_i parameter. is the exponentially average value of the index. This value is updated with a reduction value of $\rho \in (0,1)$.

$$A_i \Leftarrow \rho A_i + (1 - \rho) \left(\frac{\partial L}{\partial w_i} \right)^2 \quad (17)$$

In Equation 18, the reduction parameter is denoted by ρf , while F_i represents the exponentially smoothed value.

$$F_i \Leftarrow \rho f F_i + (1 - \rho f) \left(\frac{\partial L}{\partial w_i} \right) \quad (18)$$

In Equation 19, the α_t parameter is used as the learning rate in the t th iteration. Initial values of symbols F_i and A_i defined in Equation 19 are assigned as 0. The specified assignment operation causes errors in iterations. It uses $\sqrt{A_{i+\epsilon}}$ instead of $\sqrt{A_i}$ to increase the power of weight update and reduce the margin of error.

$$w_i \leftarrow w_i - \frac{\alpha_t}{\sqrt{A_i}} F_i \quad (19)$$

The Adam method has two different features from the RMSprop optimization method. The first is that incorporating the gradient into the momentum uses the smoothed value. The second is the use of the symbol α_t , which represents the learning rate. This usage is illustrated in Equation 20.

$$\alpha_t \leftarrow \alpha \underbrace{\left(\frac{\sqrt{1 - \rho^t}}{1 - \rho^t f} \right)}_{\text{Adjust Bias}} \quad (20)$$

It represents the error correction factor α_t , which is defined in detail in Equation 20. The Adam optimization method has many of the useful advantages of many of the other optimization methods.



Figure 10. Adam optimization technique confusion matrix of the proposed CNN method

The performance results obtained with the Adam optimization technique used to train the proposed CNN method to detect the parasite-infected cell are shown in Figure 10. According to the confusion matrix shown in this figure, parasitic cells could be classified with a success rate of 97%, while cells without parasites are classified with a success rate of 91%. With the Adam optimization technique, 113 of 13,779 cells with noise in 27,558 images are misclassified. In this case, the loss rate of the proposed system in this technique is determined as 1.37%. Of the 13,779 parasite-free cells, 374 are misclassified. Out of 13,779 parasite-free cells, 374 were misclassified with the Adam optimized model. The loss rate is determined to be 4.52%.

G. Adamax

The Adamax optimization method is a variation of the Adam optimization method, which has update rules to weight the models. Proportional scales the L^p norm of gradients from the current and previous networks [29]. Equation 21 shows the weight update according to the Adamax optimization method. The $\hat{m}_t, \hat{v}_t, u_t$ in this equation represent the moment estimate, error corrected moment estimate, and the second raw moment estimate, respectively [30]. $\beta_1 = 0.9$ and $\beta_2 = 0.9999$ denote the reduction ratios, while α denotes the step size. The w value represents the weights at t and $t + 1$ steps.

$$w_t = w_{t-1} - \frac{\alpha}{1 - \beta_1^t} x \frac{m_t}{\max(\beta_2 u_{t-1}, |g_t|)}, \quad (21)$$



Figure 11. Adamax optimization technique confusion matrix of the proposed CNN method

The performance results obtained with the Adamax optimization technique used in training the proposed CNN method to detect the parasite-infected cells are shown in Figure 11. According to the confusion matrix shown in this figure, parasitic cells could be classified with a success rate of 96%, while cells without parasites were classified with a success rate of 91%. With the Adamax optimization technique, 143 of 13,779 cells with noise in 27,558 images are misclassified. In this case, the loss rate of the proposed system in this technique is determined to be 1.73%. Out of 13,779 parasite-free cells, 553 were misclassified with the Adamax optimized model. The loss rate is determined to be 6.69%.

H. Nadam

Nesterov-Accelerated Adaptive Moment Estimation (Nadam) is calculated by integrating adaptive moment estimation into the optimization method Adam optimization method calculation formula [29]. It ensures that the specified insertion gradient value achieves high accuracy. Equation 22 shows the weight updates of the Nadam optimization method. Between Equations 23-25, the expansions of the parameters in Equation 22 are shown.

$$w_t = w_{t-1} - \alpha x \frac{\overline{m}_t}{\sqrt{\widehat{v}_t + \varepsilon}}, \quad (22)$$

$$\overline{m}_t = (1 - \beta_{1,t}) \widehat{g}_t + \beta_{1,t} \widehat{m}_t, \quad (23)$$

$$\widehat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \prod_{i=1}^{t+1} \beta_{1i}}, \quad (24)$$

$$\widehat{g}_t = \frac{g_t}{1 - \prod_{i=1}^{t+1} \beta_{1i}}, \quad (25)$$

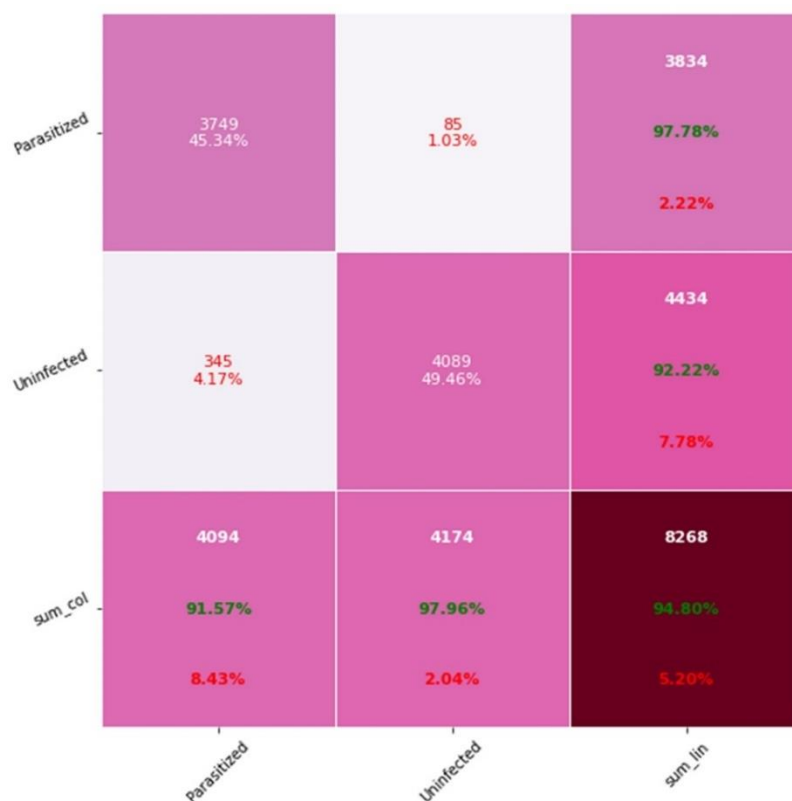


Figure 12. Nadam optimization technique confusion matrix of proposed CNN method

The performance results obtained with the Nadam optimization technique used in training the proposed CNN method to detect the parasite-infected cell are shown in Figure 12. According to the confusion matrix shown in this figure, parasitic cells could be classified with a success rate of 98%, while cells without parasites are classified with a success rate of 92%. With the Nadam optimization technique, 85 of 13,779 cells with noise in 27,558 images are misclassified. In this case, the loss rate of the proposed system in this technique is determined to be 1.03%. Out of 13,779 parasite-free cells, 345 were misclassified with the Nadam optimized model. The loss rate is determined as 4.17%.

The proposed CNN model has been tested with Adam, Adamax, SGD, RMSprop, Adadelata, Adagrad, Nadam and Ftrl optimization methods and their results are given above. Eight basic optimization methods were tested on the data set consisting of 13,779 images with and 13,779 cells without noise out of 27,558 images. The precision, recall, F1 score, and accuracy values are presented in Table 2 to correctly interpret the results.

Table 2. Proposed CNN performance results

Optimization Techniques	Type	Precision	Recall	F1 score	Accuracy
Nadam	Parasitized	0.98	0.92	0.95	0.95
Nadam	Uninfected	0.92	0.98	0.95	0.95
RMSprop	Parasitized	0.95	0.94	0.94	0.95
RMSprop	Uninfected	0.94	0.96	0.95	0.95
Adam	Parasitized	0.97	0.91	0.94	0.94
Adam	Uninfected	0.92	0.97	0.94	0.94
Adamax	Parasitized	0.96	0.86	0.91	0.92
Adamax	Uninfected	0.88	0.97	0.92	0.92
SGD	Parasitized	0.94	0.77	0.85	0.86
SGD	Uninfected	0.81	0.95	0.87	0.86
Adagrad	Parasitized	0.70	0.66	0.68	0.69
Adagrad	Uninfected	0.68	0.73	0.71	0.69
Adadelata	Parasitized	0.56	0.51	0.53	0.56
Adadelata	Uninfected	0.56	0.61	0.58	0.56
Ftrl	Parasitized	0.50	1.00	0.66	0.50
Ftrl	Uninfected	0.00	0.00	0.00	0.00

While Nadam gives better results in the parasitized class, the RMSprop method gives better results in the uninfected class.

IV. SUMMARY OF RESULTS

We evaluated the proposed CNN model with Adam, Adamax, SGD, RMSprop, Adadelata, Adagrad, Nadam and Ftrl optimization techniques.

Table 3. Loss of performance results of the proposed CNN model

Optimization Techniques	Parasitized	Uninfected	Total
Nadam	85	345	430
RMSprop	185	266	451
Adam	113	374	487
Adamax	143	553	696
SGD	203	946	1149
Adagrad	1133	1407	2540
Adadelata	1627	2014	3641
Ftrl	4174	13779	17953

The number of results of loss performance according to these optimization methods is given in Table 3. According to this table, it is seen that the Nadam optimization method has the least loss function in the malaria data set. The Ftrl optimizer could not work well. We examined 13.779 with parasitized and uninfected totally 27.558 images using the optimization methods. While a total of loss than 500 errors occurred in the Nadam, RMSprop, and Adam optimization methods, more errors have been received in the Adamax, SGD, Adagrad, Adadelata and Ftrl optimization methods. We observed that the optimization methods of Nadam, RMSprop, and Adam gave better results than other optimization methods in the proposed CNN model when evaluated in a publicly available dataset named Malaria using the same parameters in eight different optimization methods.

The results of the article up to this step were obtained using the first data set. The second dataset is used to show the robustness and flexibility of the model. No change in performance was observed. Apart from this article, two separate models based on ResNet50V2 and CNN were developed in the study [31] shown in Table 4. In this study, which was carried out differently from this developed model, a second data set was added in addition to a commonly used data set in the literature, as can be seen in Table 4. At the same time, it has been observed whether there will be a change in the results of the proposed CNN model despite the addition of the data set. In this study, a robust model has been proposed that will not change the performance results despite the enlargement of the data set. Proposed model has more distinctive feature extraction structure and features compared to [31] study. This has been demonstrated in the performance results given in Table 4.

As a result of the study, the Nadam optimization method with the least number of losses is defined as the most successful model. The performance comparison of the results obtained with similar data sets in the literature with the results of the proposed model is given in Table 4. When Table 4 is analyzed briefly, it is seen that CNN-based methods have been developed as well as pre-trained transfer learning-based methods in malaria classification. The Proposed CNN model can compete with pre-trained or CNN-based methods in the literature. In order to achieve this, the filter and window sizes used in the convolution layers in the model were determined by experimental studies. Apart from the Convolution layer, the basic layers in deep learning are arranged for malaria detection with an appropriate merger. With the Proposed CNN model, convolution, max pooling, batch normalization, dropout, dense, fully connected layers were brought together in a certain order in order to extract the most distinctive features of malaria dataset images. In addition, the number of epochs and the best optimization method for compiling the model were determined by experimental studies.

Classification performance criteria are considered to determine the optimization method in which the Proposed CNN model gives the best results. According to these criteria, the proposed CNN model can compete with the latest technology architectures such as LeNet-5, EfficientNetB0, AlexNet, VGG16, VGG19, GoogleNet, ResNet. Adagrad and Adadelata optimization methods lagged behind other optimization methods. The CNN-based malaria classification model proposed in this study was made to be lightweight. At the same time, a deep learning model with low computational cost was obtained according to the studies in the literature. With the determined targets, it was ensured that the proposed model could compete with the studies in the literature and a model suitable for real-time systems was proposed.

In Table 4, Rajaraman et al. classifies malaria images with the pre-trained ResNet50 model [11]. Vijayalakshmi and Kanna replaced the classification layer in the upper layer of VGG16, VGG19, GoogleNet, AlexNet, LeNet-5 based architectures, which are pre-trained transfer learning techniques, with the SVM method [9]. With the change made, the classification process was carried out by changing the classification layer of the existing method in the literature. They got the best performance result with VGG19 architecture. However, the VGG19 architecture consists of 138.4 million parameters. The number of parameters specified increases the computational cost considerably. Raihan and Nahid provided the classification of features extracted by a CNN and wavelet-based method with the XgBoost algorithm [32]. Khan et al. classified malaria images with three different

models, which he proposed based on random forest, decision tree and logistic regression methods from machine learning techniques [33]. Montalbo et al. performed classification of malaria images without any preprocessing, optimization, or data augmentation with the EfficientNetB0 model, which uses pre-trained weight values with fine tuning. [34]. Reddy et al. performed classification on malaria images viewed microscopically with the ResNet50 model, which is one of the transfer learning-based architectures [35]. By fixing the image size to 224x224 width and height, they performed a training process consisting of 193 steps in each epoch step. They used the SGD optimization method in their studies, claiming that it gave better results than many other optimization methods [36]. Oyewola et al. uses reinforcement learning to classify malaria, which caused 627,000 deaths in 2020 [37]. By performing data augmentation, they increased the data.

Table 4. Comparison results with similar datasets

Class	Model	F1 score (%)	Precision (%)	Recall (%)	Accuracy (%)	
Parasitized	[38]	---	---	---	0.84	
	[9] (VGG19)	0.91	0.89	0.93	0.93	
	[9] (VGG16)	0.85	0.82	0.88	0.91	
	[9] (GoogleLeNet)	0.83	0.81	0.85	0.86	
	[9] (AlexNet)	0.77	0.78	0.77	0.82	
	[9] (LeNet-5)	0.74	0.74	0.74	0.79	
	[39]	---	---	---	0.88	
	[32]	0.94	0.94	0.95	0.94	
	[11]	0.95	-	-	0.95	
	[33] (Random Forest)	0.84	0.82	0.86	-	
	[33] (Decision Tree)	0.76	0.78	0.75	-	
	[33] (Logistic Regression)	0.79	0.84	0.75	-	
	[34]	0.94	0.93	-	0.94	
	[35]	-	-	-	0.95	
	[37]	-	-	-	0.94	
	[31] (ResNet50V2)	0.80	0.81	0.78	0.80	
	[31] (CNN)	0.94	0.98	0.91	0.95	
	Proposed CNN (Nadam)	0.95	0.98	0.92	0.95	
	Proposed CNN (RMSprop)	0.94	0.95	0.94	0.95	
	Proposed CNN (Adam)	0.94	0.97	0.91	0.94	
	Proposed CNN (Adamax)	0.91	0.96	0.86	0.92	
	Proposed CNN (SGD)	0.85	0.94	0.77	0.86	
	Proposed CNN (Adagrad)	0.68	0.70	0.68	0.69	
	Proposed CNN (Adadelata)	0.53	0.56	0.51	0.56	
	Uninfected	[38]	---	---	---	0.84
		[9] (VGG19)	0.91	0.89	0.93	0.93
[9] (VGG16)		0.85	0.82	0.88	0.91	
[9] (GoogleLeNet)		0.83	0.81	0.85	0.86	
[9] (AlexNet)		0.77	0.78	0.77	0.82	
[9] (LeNet-5)		0.74	0.74	0.74	0.79	
[39]		---	---	---	0.88	
[32]		0.94	0.94	0.95	0.94	
[11]		0.95	-	-	0.95	
[33] (Random Forest)		0.84	0.82	0.86	-	
[33] (Decision Tree)		0.76	0.78	0.75	-	
[33] (Logistic Regression)		0.79	0.84	0.75	-	
[34]		0.94	0.93	-	0.94	
[35]		-	-	-	0.95	
[37]		-	-	-	0.94	
[31] (ResNet50V2)		0.81	0.79	0.83	0.80	
[31] (CNN)		0.95	0.92	0.98	0.95	
Proposed CNN (Nadam)		0.95	0.92	0.98	0.95	
Proposed CNN (RMSprop)		0.95	0.94	0.96	0.95	
Proposed CNN (Adam)		0.94	0.92	0.97	0.94	
Proposed CNN (Adamax)		0.92	0.88	0.97	0.92	
Proposed CNN (SGD)		0.87	0.81	0.95	0.86	
Proposed CNN (Adagrad)		0.71	0.68	0.73	0.69	
Proposed CNN (Adadelata)		0.58	0.56	0.61	0.56	

The results obtained with this proposed CNN model and the optimization methods used in this model were evaluated according to the performance criteria commonly used in the current literature, such as precision, recall, F1 score, and accuracy criteria. It is concluded that the proposed model and the optimization methods used can be a useful model for the identification and classification of malaria diseases.

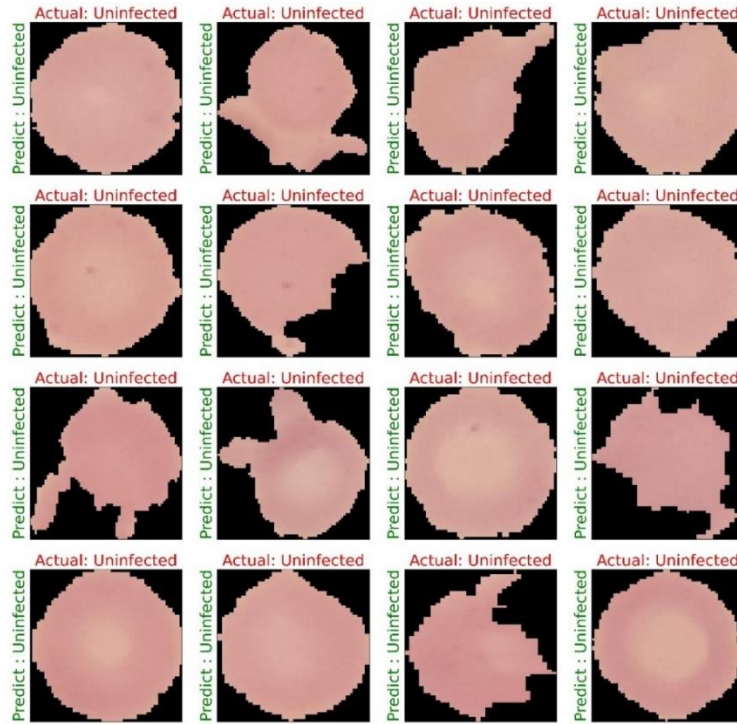


Figure 13. Test results on uninfected class of proposed model

Figure 13 shows the results obtained as a result of the tests performed. The predicted results of the model are shown in green on the y-axis. In the title, the actual class label of the malaria cell image shown is given. During the testing process, the preprocessing of the training modeling was carried out.

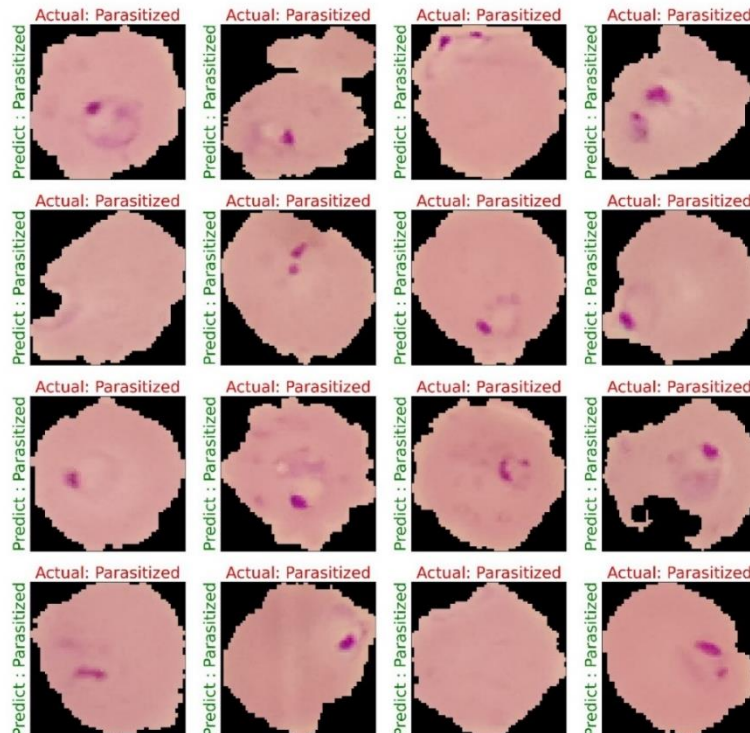


Figure 14. Test results on the parasitized class of the proposed model

Similar to Figure 13, the test results of the parasitized class are shown in Figure 14. As in Figure 13, the class predicted by the model is shown in green on the y-axis. In the header, the actual class label of the malaria cell image shown is presented.

V. CONCLUSIONS

In this study, we have helped the problem of diagnosing malaria by using image processing and deep learning architectures, which offer great opportunities in the healthcare field. Accuracies of Nadam (0.95), RMSprop (0.95), Adam (0.94), Adamax (0.92), SGD (0.86), Adagrad (0.69), Adadelata (0.56) and Ftrl (0.25) were obtained, respectively. In this study, we present a comprehensive search using basic optimization algorithms for efficient recognition and classification of malaria parasites. We use eight optimization techniques to extract meaningful distinguishing features from these images. To know whether a particular blood sample is infected or not, with each optimization technique, each sample was diagnosed and classified separately. We presented a new CNN model with optimization techniques used separately in the proposed CNN model for diagnosing malaria from images of red blood cells. This new CNN model has been proposed with eight different optimization techniques for malaria diagnosis using an up-to-date publicly available red blood cell dataset. It was achieved with a high accuracy of 95% in diagnosing malaria. It can be successfully applied in the diagnosis of malaria with optimization methods such as Nadam, RMSprop and Adam.

REFERENCES

- [1] Ikerionwu, C., Ugwuishiwu, C., Okpala, I., James, I., Okoronkwo, M., Nnadi, C., & Ike, A. (2022). Application of Machine and Deep Learning Algorithms in Optical Microscopic Detection of Plasmodium Parasites: A Malaria Diagnostic Tool for the Future. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 103198.
- [2] Bonilla, J. A. (2006). Assessing the function of the aspartic proteinases of the Plasmodium falciparum digestive vacuole using gene-knockout strategies. University of Florida.
- [3] Tangpukdee, N., Duangdee, C., Wilairatana, P., & Krudsood, S. (2009). Malaria Diagnosis: A Brief Review. *The Korean Journal of Parasitology*, 47(2), 93.
- [4] World Health Organization. (2021). World malaria report 2021. *World Health Organization 2021*.
- [5] Das, D. K., Mukherjee, R., & Chakraborty, C. (2015). Computational microscopic imaging for malaria parasite detection: a systematic review. *Journal of Microscopy*, 260(1), 1–19.
- [6] Mitiku, K., Mengistu, G., & Gelaw, B. (2003). The reliability of blood film examination for malaria at the peripheral health unit. *Ethiopian Journal of Health Development*, 17(3), 197–204.
- [7] Chavan, S. N., & Sutkar, A. M. (2014). Malaria disease identification and analysis using image processing. *Int. J. Latest Trends Eng. Technol*, 3(3), 218–223.
- [8] Siłka, W., Wiczorek, M., Siłka, J., & Woźniak, M. (2023). Malaria Detection Using Advanced Deep Learning Architecture. *Sensors*, 23(3), 1501.
- [9] Vijayalakshmi A, & Rajesh Kanna B. (2020). Deep learning approach to detect malaria from microscopic images. *Multimedia Tools and Applications*, 79(21–22), 15297–15317.
- [10] Poostchi, M., Silamut, K., Maude, R. J., Jaeger, S., & Thoma, G. (2018). Image analysis and machine learning for detecting malaria. *Translational Research*, 194, 36–55.
- [11] Rajaraman, S., Antani, S. K., Poostchi, M., Silamut, K., Hossain, M. A., Maude, R. J., & Thoma, G. R. (2018). Pre-trained convolutional neural networks as feature extractors toward improved malaria parasite detection in thin blood smear images. *PeerJ*, 6, e4568.
- [12] Díaz, G., González, F. A., & Romero, E. (2009). A semi-automatic method for quantification and classification of erythrocytes infected with malaria parasites in microscopic images. *Journal of Biomedical Informatics*, 42(2), 296–307.
- [13] Shuleenda Devi, S., Sheikh, S. A., Talukdar, A., & Laskar, R. H. (2016). Malaria Infected Erythrocyte Classification Based on the Histogram Features using Microscopic Images of Thin Blood Smear. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(45).
- [14] Das, D. K., Maiti, A. K., & Chakraborty, C. (2015). Automated system for characterization and classification of malaria- infected stages using light microscopic images of thin blood smears. *Journal of microscopy*, 257(3), 238–252.
- [15] Dong, Y., Jiang, Z., Shen, H., David Pan, W., Williams, L. A., Reddy, V. V. B., & Bryan, A. W. (2017). Evaluations of deep convolutional neural networks for automatic identification of malaria infected cells. In *2017 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI)*, 101–104, IEEE.
- [16] Van-Quoc, V., & Thai-Nghe, N. (2023). Skin Diseases Detection with Transfer Learning. In *Proceedings of International Conference on Data Science and Applications: ICDSA 2022, 1*, 139–150, Springer.
- [17] Hamedani-KarAzmoddehFar, F., Tavakkoli-Moghaddam, R., Tajally, A. R., & Aria, S. S. (2023). Breast cancer classification by a new approach to assessing deep neural network-based uncertainty quantification methods. *Biomedical Signal Processing and Control*, 79, 104057.
- [18] Gupta, K., & Bajaj, V. (2023). Deep learning models-based CT-scan image classification for automated screening of COVID-19. *Biomedical Signal Processing and Control*, 80, 104268.
- [19] Odusami, M., Maskeliunas, R., Damaševičius, R., & Misra, S. (2021). Comparable study of pre-trained model on alzheimer disease classification. In *Computational Science and Its Applications–ICCSA 2021: 21st International Conference, Cagliari, Italy, September 13–16, 2021, Proceedings, Part V 21*, 63–74. Springer.

- [20] Rajaraman, S., Jaeger, S., & Antani, S. K. (2019). Performance evaluation of deep neural ensembles toward malaria parasite detection in thin-blood smear images. *PeerJ*, 7, e6977.
- [21] Kassim, Y. M., Yang, F., Yu, H., Maude, R. J., & Jaeger, S. (2021). Diagnosing malaria patients with plasmodium falciparum and vivax using deep learning for thick smear images. *Diagnostics*, 11(11), 1994.
- [22] Yu, H., Yang, F., Rajaraman, S., Ersoy, I., Moallem, G., Poostchi, M., & Jaeger, S. (2020). Malaria Screener: a smartphone application for automated malaria screening. *BMC Infectious Diseases*, 20(1), 1–8.
- [23] Uddin, S. (2020). Malaria Parasite Image. Retrieved from <https://www.kaggle.com/datasets/saife245/malaria-parasite-image-malaria-species>
- [24] Goutte, C., & Gaussier, E. (2005). A Probabilistic Interpretation of Precision, Recall and F-Score, with Implication for Evaluation. In *Lecture Notes in Computer Science*, 3408, 345–359.
- [25] Aggarwal, C. C. (2018). Neural networks and deep learning. *Springer*, 10, 973–978.
- [26] Zhang, A., Lipton, Z. C., Li, M., & Smola, A. J. (2021). Dive into Deep Learning. *Journal of the American College of Radiology*, 17(11), 437–516.
- [27] McMahan, H. B., Holt, G., Sculley, D., Young, M., Ebner, D., Grady, J., & Kubica, J. (2013). Ad click prediction. In *Proceedings of the 19th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining* (Vol. 9, pp. 1222–1230). New York, NY, USA: ACM.
- [28] Finsveen, L. (2018). Time-series predictions with Recurrent Neural Networks, (June), 21–22.
- [29] Hoang, N.-D. (2021). Automatic Impervious Surface Area Detection Using Image Texture Analysis and Neural Computing Models with Advanced Optimizers. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021, 1–17.
- [30] Kingma, D., & Ba, J. (2014). Adam: A Method for Stochastic Optimization. *International Conference on Learning Representations*.
- [31] Çetiner, İ. (2022). Konvölüsyonel Sinir Ağı Kullanılarak Sıtma Hastalığı Sınıflandırılması. *Journal*, 9(17), 273–286.
- [32] Raihan, M. J., & Nahid, A.-A. (2022). Malaria cell image classification by explainable artificial intelligence. *Health and Technology*, 12(1), 47–58.
- [33] Khan, A., Gupta, K. D., Venugopal, D., & Kumar, N. (2020). CIDMP: Completely Interpretable Detection of Malaria Parasite in Red Blood Cells using Lower-dimensional Feature Space. In *2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 1–8.
- [34] Montalbo, F. J. P., & Alon, A. S. (2021). Empirical Analysis of a Fine-Tuned Deep Convolutional Model in Classifying and Detecting Malaria Parasites from Blood Smears. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 15(1), 147–165.
- [35] Reddy, A. S. B., & Juliet, D. S. (2019). Transfer Learning with ResNet-50 for Malaria Cell-Image Classification. In *2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 945–949.
- [36] Keskar, N. S., & Socher, R. (2017). Improving generalization performance by switching from adam to sgd. *arXiv preprint arXiv:1712.07628*.
- [37] Oyewola, D. O., Dada, E. G., Misra, S., & Damaševičius, R. (2022). A Novel Data Augmentation Convolutional Neural Network for Detecting Malaria Parasite in Blood Smear Images. *Applied Artificial Intelligence*, 36(1), 2033473.
- [38] Das, D. K., Ghosh, M., Pal, M., Maiti, A. K., & Chakraborty, C. (2013). Machine learning approach for automated screening of malaria parasite using light microscopic images. *Micron*, 45, 97–106.
- [39] Singla, N., & Srivastava, V. (2020). Deep learning enabled multi-wavelength spatial coherence microscope for the classification of malaria-infected stages with limited labelled data size. *Optics & Laser Technology*, 130(September 2019), 106335.



Araştırma Makalesi - Research Article

Psikomotor Testlerine Hazırlık için Unity Oyun Motoru ile Yardımcı Sistem Tasarımı

Assistive System Design with Unity Game Engine for Psychomotor Tests Preparation

Elif Kuruçay¹, Burakhan Çubukçu^{2*}, Uğur Yüzgeç³

Geliş / Received: 15/04/2022

Revize / Revised: 01/02/2023

Kabul / Accepted: 30/03/2023

ÖZ

Türk Hava Kuvvetleri'nin pilot kaynağı olan Hava Harp Okulu, pilot adaylarını kapsamlı ve ayrıntılı testlerden geçirmektedir. Ülkemizde Hava Harp Okulu mülakatlarında savaş pilotu adayları için uygulanan testlerden biri psikomotor testidir. Psikomotor testinde pilot adayının el-ayak-göz koordinasyonunu, dikkat ve tepki hızını değerlendirilmekte ve uçuşa temel teşkil eden algılama hızı, durumsal farkındalık, dikkat gibi yetenekleri test edilmektedir. Test sırasında bilgisayar, pedal ve kumanda kolu kullanılır. Bu çalışma kapsamında adayların kendilerini psikomotor testine hazırlayabilmeleri ve psikomotor becerilerini geliştirmeleri için bir donanım ve yazılım sistemi geliştirilmiştir. Unity 3D oyun motoru ile C# programlama dili kullanılarak yazılım kısmı gerçekleştirilen sistemin ana malzemesi ahşap olan, el ve ayak test sürücülerini kontrol eden donanım parçalarının haberleşmesi Arduino ile yapılmıştır. Önerilen psikomotor testi bilgisayar klavyesi, el ve ayak test sürücülerini ile kontrol edilmektedir. Geliştirilen sistem 15 gönüllü üzerinde denenmiştir. Gönüllülerin her deneme sonrasında daha başarılı sonuçlar aldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Psikomotor Testi, Psikomotor Becerileri, Pilot Eğitimi, Arduino, Unity.*

ABSTRACT

The Air Force Academy, the pilot source of the Turkish Air Force, implements a comprehensive and detailed selection system. Psychomotor tests are performed for candidates of combat pilot candidates in Air Force Academy interviews in Turkey. In the psychomotor test, the hand-foot-eye coordination, attention, and reaction speed of the pilot candidate are evaluated and their skills such as perception speed, situational awareness and attention, which are the basis for flight, are tested. Computer, pedal, and joystick are used during the test. Within the scope of this study, a hardware and software system were developed so that the candidates could prepare themselves for the psychomotor test and improve their psychomotor skills. The communication of the hardware parts controlling the hand and foot test drivers of the system, the software part of which was realized by using the Unity 3D game engine and C# programming language, was made with Arduino. The proposed psychomotor test is controlled by

¹İletişim: elifkuruçay@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-2401-9051>)

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

^{2*}Sorumlu yazar iletişim: burakhan.cubukcu@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-0480-1254>)

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

³İletişim: ugur.yuzgec@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-5364-6265>)

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

computer keyboard, hand, and foot test drivers. The developed system was tested on 15 volunteers. It has been observed that volunteers achieved more successful results in each trial.

Keywords- Psychomotor Test, Psychomotor Skills, Pilot Training, Arduino, Unity.

İ.GİRİŞ

Psikomotor kelime anlamı olarak hareketi ifade etmektedir. Anne karnında başlayan kişinin fiziksel gelişimi dünyaya geldikten sonra da hızlanarak devam eder. Bireyin bazı hareketleri refleks olarak devam ederken, bazı hareketleri ise zaman içerisinde el, ayak ve diğer organların bilinçli kullanımı ile bir psikomotor becerisine dönüşür. Nefes alıp vermek ömür boyu devam eden istem dışı bir refleks hareket iken tek ayak üzerinde sekmek organların bilinçli kullanılması ile yapılan bir eylemdir. Bu davranış psikomotor gelişim içerisinde değerlendirilir. Psikomotor gelişim, ömür boyu devam eden psikomotor becerilerde ortaya çıkan davranışların kontrol altına alındığı bir süreçtir. Bu davranışlar; duyu organları, bellek ve kasların birlikte çalışması ile ortaya çıkmaktadır. Psikomotor yetenekler; denge, dikkat, koordinasyon, kuvvet, tepki hızı ve esneklik olarak sınıflandırılabilir [1,2].

Psikomotor gelişim aynı zamanda uçuş performansı açısından da önemli bir etkidir. Uçuş performansının belirleyicilerine yönelik bazı meta analizler bulunmaktadır. Hunter ve Burke, pilot seçim ölçütlerinin geçerliği ile ilgili yaptığı meta analizde 1940-1990 yılları arasında yapılan 68 çalışmayı incelemiştir. Bu incelemelerde pilot performansı üzerine etkisi bulunan özellikler; sayısal yetenek, uzamsal yetenek, mekaniksel beceri, havacılık bilgisi, genel bilgi, kaba beceri, algı hızı, reaksiyon zamanı, ince beceri, yaş, eğitim ve kişilik olarak sıralanmıştır [2]. Yapılan meta analize ait tüm veriler Tablo 1’de gösterilmiştir. Martinussen’in 1919-1993 yılları arasında Türkiye’nin de içinde bulunduğu çeşitli ülkelerde yapılan 50 çalışmaya dayanarak yaptığı meta analizde ise bilişsel yetenek, zeka, psikomotor/bilgi üretimi, havacılık bilgisi, kişilik, biodata ölçeği, birleşik indeks, akademik performans, eğitim deneyimi pilot başarısındaki geçerli ölçütler olarak belirlenmiştir [3]. Martinussen’in meta analiz çalışmasında pilot performansını öngören değişkenler Tablo 2’de özetlenmektedir.

Tablo 1. Hunter ve Burke (1994)’nin meta analizinde pilot performansını öngören değişkenler

Yordayıcı	Korelasyon (r)	Açıklanan varyans	Çalışma sayısı (Nx)	Örneklem (Ns)
Genel yetenek	0.13	21	14	8071
Sözel yetenek	0.12	6	17	22841
Sayısal yetenek	0.11	28	34	46884
Uzamsal (spatial) yetenek	0.19	14	37	52153
Mekanik yetenek	0.29	8	36	42418
Genel bilgi	0.25	4	13	29951
Havacılık bilgisi	0.22	12	23	25295
Kaba beceri	0.32	13	60	48988
İnce beceri	0.10	45	12	2792
Algı hızı	0.20	19	41	33511
Reaksiyon zamanı	0.28	16	7	10633
Biodata ölçeği	0.27	6	21	27004
Yaş	-0.10	11	9	13810
Eğitim	0.06	12	9	6163
İş Örneği	0.34	37	16	2814
Kişilik	0.10	11	46	22486

Tablo 2. Martinussen (1996)’in meta analizinde pilot performansını öngören değişkenler

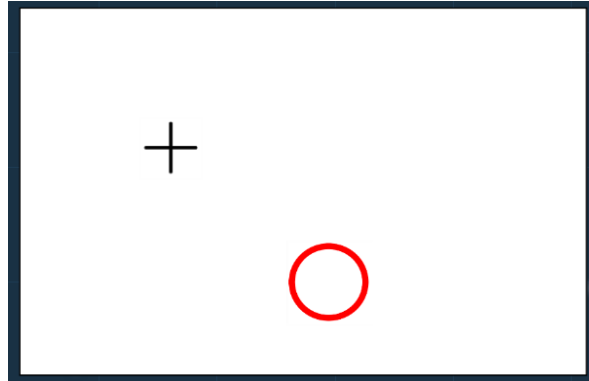
Yordayıcı	Korelasyon (r)	Açıklanan varyans	Çalışma sayısı (Nx)	Örneklem (Ns)
Bilişsel	0.22	0.24	35	17900
Zeka	0.13	0.16	26	15403
Psikomotor/bilgi üretimi	0.20	0.24	29	8522
Havacılık bilgisi	0.22	0.24	16	3736
Kişilik	0.13	0.14	21	6304
Biodata ölçeği	0.21	0.23	13	11347
Birleşik indeks	0.31	0.37	14	5362
Akademik performans	0.15	0.15	9	4267
Eğitim Deneyimi	0.25	0.30	10	5806

1995’de Euro-NATO Aircrew Human Factors Working Group (AHFWG) adı altında havacılık psikologları ve pilotlardan oluşan bir çalışma grubu, uçuş personeli seçim teknik ve yöntemlerini geliştirmek amacıyla toplanmıştır. Savaş pilotları için 12 yetenek ve 8 kişisel özellik belirlemiştir. Yetenekler; durumsal farkındalık, bellek, akıl yürütme, algı hızı, zaman paylaşımı, seçici algı, tepki oryantasyonu ve uzamsal oryantasyon olarak belirlenmiştir [4]. Hilton ve Dolgin’in (1991) tarama çalışmasında da pilot performansını belirleyen temel öğeler zeka, kişilik ve psikomotor yetenek olarak bulunmuştur [5].

Türkiye’de savaş pilotu seçimleri Türk Hava Kurumu’nun pilot kaynağı olan Hava Harp Okullarında kapsamlı ve detaylı bir mülakat ile gerçekleştirilmektedir. Adaylar üniversite puanlarına göre sıralamaya tutulmakta ve Hava Harp Okulu’na öğrenci adayı olarak çağırılmaktadır. Üniversite sınavı burada bir zeka ölçütü olarak yer almaktadır. Adayın Hava Harp Okuluna öğrenci olabilmesi için üniversite giriş sınavında ilk %1’e girmesi beklenmektedir. Aday, ön sağlık muayenesi, kişilik testi, psikomotor testi, spor testi ve çeşitli görüşmelerden geçmektedir. Adaylara İngiliz Kraliyet Hava Kuvvetleri’nden alınan psikomotor testi uygulanmaktadır. Bu aşamalardan geçen öğrenciler seçme uçuşuna gönderilmektedir. Başarılı olan öğrenciler intibak eğitimini bitirerek Hava Harp Okulu öğrencisi olmaya hak kazanmaktadır [6]. Savaş pilotu olmak isteyen adaylar için Hava Harp Okullarında yapılan psikomotor testi toplam 6 aşamadan oluşmaktadır. Her test amacı bakımından adayın farklı yeteneklerini test etmektedir. Bu testler adayın el, ayak, göz koordinasyonunu, dikkat ve tepki hızını değerlendirmek, uçuşa temel teşkil eden algılama hızı, durumsal farkındalık, seçici dikkat gibi yetenekleri test etmek amacıyla yapılmaktadır [7].

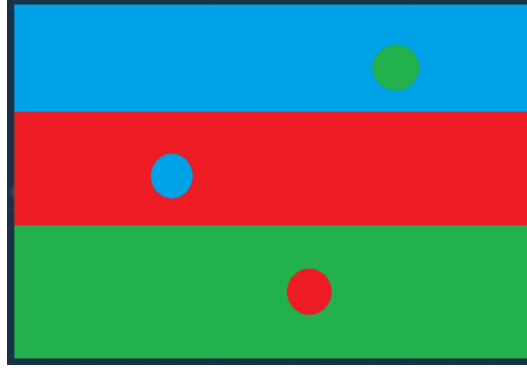
Psikomotor testinde 88 baraj puanının altında kalan adaylar elenmektedir. Belirlenen bu puanının altındaki adaylar sonraki seçim aşamalarına devam edemeyerek giriş sınavından elenmektedirler [7]. Psikomotor testinin itirazı yapılamamakta ve her adayın tek giriş hakkı bulunmaktadır. Test bilgisayar ortamında, testin ihtiyacına göre klavye, fare, pedal ve kumanda kolu gibi bileşenlerden bir ya da birden fazlası kullanılarak yapılmaktadır. Test yapılırken bu bileşenlerden hangisi ya da hangilerinin kullanılacağı adaya bildirilmektedir. Savaş pilotu adayları için Hava Harp Okullarında yapılmakta olan psikomotor testine başlamadan önce adayları bilgilendirmek için bir bilgi metni sunulur. Bu metinde, adayın testi hangi bileşen veya bileşenler kullanarak ve hangi amaçla yapacağı hakkında bilgi verilmektedir. Aday test öncesinde bu bilgilendirme metnini verilen süre içerisinde okur ve daha sonra test başlar.

Şekil 1’de örnek bir psikomotor testi ekranı gösterilmiştir. Bu örnek testin çerçevesi dikdörtgen olup, içindeki iki nesne ekran dışına çıkamayacak şekilde iki boyutlu olarak tasarlanmıştır. Buradaki amaç, ekranda sabit bir hızla fakat rastgele hareket eden artı sembolünü kırmızı çember içerisinde çerçevenin merkezine en yakın mesafede tutabilmektir. Test sırasında sağa ve sola hareket işlemleri pedal ile yapılırken, yukarı aşağı hareketlerde kumanda kolu kullanılmaktadır. Kırmızı çemberi yukarı ilerletebilmek için, kumanda kolunu aşağı, aşağı ilerletebilmek için ise kumanda kolunu yukarı götürmek gerekmektedir.



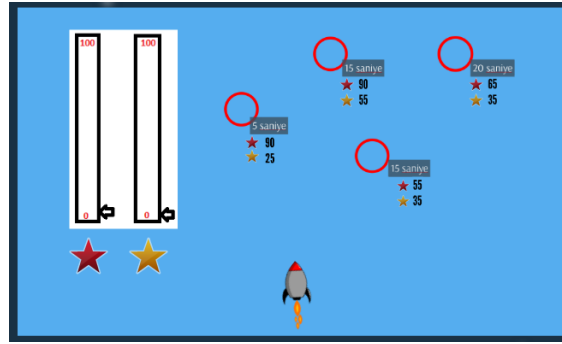
Şekil 1. Psikomotor Testi Örneği 1

Şekil 2’de verilen ikinci psikomotor testi örneğinde ekran üç farklı zemin renginden oluşmaktadır. Üç adet top yukarıdan rastgele bir şekilde serbest olarak düşmektedir. Bu toplar zeminler ile aynı renge sahiptir. Herhangi bir işlem yapılmadığında toplar ekranın altından çıkarak yok olmaktadır. Ayrıca test sırasında mavi zeminli bölgede ekranda belirli aralıklarla anlamsız kelimeler gösterilmektedir. Benzer şekilde yeşil zeminli bölgede ise ekranda sayılar belirli aralıklarda gösterilmektedir. Bu örnek testteki amaç, topların kendi renklerindeki zeminlere geldiğinde fare yardımı ile üzerlerine tıklayarak onları yok etmektir. Bunlardan başka ikinci amaç ise, klavye ile ekrana gelen sayıların toplamı istendiğinde doğru sonucun girilmesi ve anlamsız kelimelerin baş harfinin ekrana geldiğinde kelimenin tamamının girilmesidir.



Şekil 2. Psikomotor Testi Örneği 2

Örnek bir başka psikomotor testi ekranı Şekil 3’de gösterilmektedir. Bu test ekranında iki adet gösterge ve bu göstergeleri temsil eden iki adet simge bulunmaktadır. Ekran üzerinde pozisyonları rastgele belirlenen ve farklı zamanlarda görünen kırmızı çemberler gelmektedir. Her çemberin ekranda görüneceği süre kısıtlı ve rastgele olduğundan, kırmızı çemberlerin altında kaybolacağı süre bir geri adım sayacı ile gösterilmektedir. Her kırmızı çembere ait iki gösterge değeri bulunmaktadır. Bu testteki amaç, çemberlerin süresi bitmeden bu çemberleri kontrol edilen uzay araç ile değerek yok etmektir. Gereken sürede çembere ulaşılamaz ise çember yok olmaktadır ve kullanıcı eksi puan almaktadır. Kullanıcı tarafından test sırasında halkaların süreleri ve değerleri iyi anlaşılmalı ve ona göre bir rota belirlemelidir. Bu önerilen psikomotor testi pedal, kumanda kolu ve fare kullanılarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3. Psikomotor Testi Örneği 3

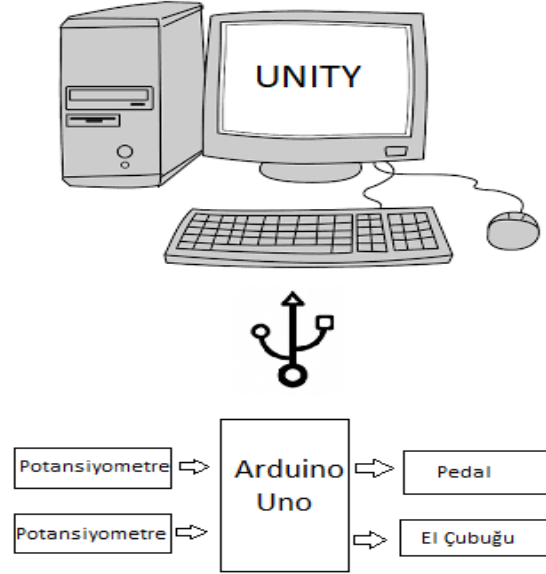
Psikomotor yeteneğin uçuş performansı ile ilişkisi ilk uçuşlardan beri tahmin edilmekteydi. Ancak sadece reaksiyon zamanlarını ölçebilen ilk psikomotor ölçümleri, sınırlı seçim ölçütü olarak kullanılmaktaydı. Mielton (1947) Karmaşık Koordinasyon Testi'nin uçuş okulu geçme-kalma ölçütü ile reaksiyonda belirlenen aralıklar arasında bir ilişkili olduğunu [8], Fleishman (1956) ise iki el koordinasyonu, rota izleme testi, pedal kontrol testi gibi farklı psikomotor ölçümleri ile pilot eğitim başarısının en iyi şekilde öngörüldüğünü belirtmiştir [9]. Psikomotor testlerinin uygulama zorlukları, çeşitli geçerlik problemleri, maliyetleri, ekipmanların kalibrasyonlarındaki problemler bu testlerin yaygın olarak kullanılmasının önündeki önemli engelleri oluşturmuştur [10]. Bu sebeplerden 1950 yıllarında Amerika’da pilotların test edilmesi işlemi rafa kaldırılmıştır. 1970’lerdeki bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler doğrultusunda pilot testleri yeniden gündeme gelmiştir. Bilgisayar destekli testlerin objektiflik, standardizasyon, değerlendirme, ekonomiklik, uygulama kolaylığı gibi avantajları psikomotor testlerin yeniden pilot seçim ölçütlerinden birisi olarak kullanılmasını sağlamıştır. 1981 yılında Amerika’da psikomotor becerilerini ölçen Temel Özellikler Testi (Basic Attributes Test: BAT) geliştirilmiştir [11-18].

Bu çalışma kapsamında ülkemizde uygulanmakta olan psikomotor testi baz alınarak, psikomotor yeteneklerini geliştirmeye yönelik bir test sistemi önerilmiştir. Önerilen sistem, psikomotor testini her alanda yaygınlaştırmak ve önemini arz eden bir farkındalık oluşturmak, aynı zamanda da bu testlerin sadece savaş pilotları için değil test edilme ihtiyacı güdülen, çoğu meslek grupları ve özellikle zihinsel engelli bireyler açısından geliştirilebileceğine dikkat çekmek amacıyla geliştirilmiştir. Tablo 1 ve Tablo 2’de sunulan Hunter ve Burke (1994) ve Martinussen (1996) çalışmalarındaki meta analizlerde yer alan değişkenler olan genel yetenek, sözel yetenek, sayısal yetenek, uzamsal yetenek, mekanik yetenek, genel bilgi, havacılık bilgisi, kaba beceri, ince beceri, algı hızı, reaksiyon zamanı, biodata ölçeği, yaş, eğitim, iş örneği ve kişilik gibi faktörlerin tasarlanan sistemin üretiminde etkili olacağı düşünülmektedir. Bu değişkenlerin etkili olması, psikomotor testlerinin sadece savaş pilotları için değil, çeşitli meslek grupları ve zihinsel engelli bireyler için de geliştirilebileceğini göstermektedir.

Sonraki bölümlerde çalışmada önerilen sistemin yazılım ve donanım detaylarına, adaylar üzerindeki test sonuçlarına, sonuç ve tartışma bölümlerine yer verilmektedir.

II. PSİKOMOTOR TESTLERİNE HAZIRLIK İÇİN YARDIMCI UYGULAMA TASARIMI

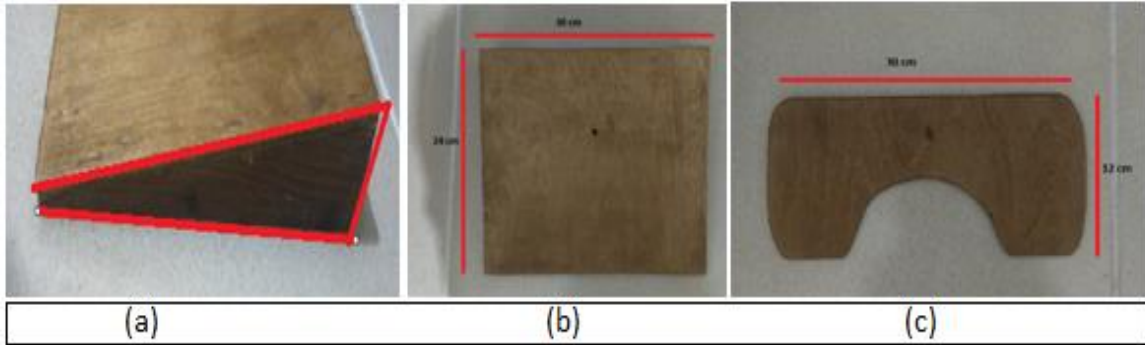
Şekil 4'te bu çalışma kapsamında Unity 3D oyun motoru kullanılarak geliştirilen mikrodeneleyici kontrollü psikomotor testlerine yardımcı sistemin çalışma yapısı verilmiştir. Önerilen sistem içinde donanım olarak Arduino Uno mikrodeneleyici kartı, iki adet potansiyometre ve bunlara monte edilmiş özel tasarım el çubuğu ile pedal kullanılmaktadır. Bu çalışmada önerilen psikomotor testi Unity 3D oyun motorunda C# yazılım dili kullanılarak geliştirilmiştir. Arduino Uno mikrodeneleyicisi ile potansiyometreden alınan veriler, işlenmekte ve bu veriler bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Unity 3D oyun motoru platformunda geliştirilen psikomotor testinin kullanıcı kontrolü, Arduino Uno mikrodeneleyici kartına bağlı olan pedal ve el çubuğu ile sağlanmaktadır. Psikomotor testinin gerçekleştirilmesinde Arduino Uno R3 ve Unity 3D'nin 5.5.1f1 versiyonu kullanılmıştır.



Şekil 4. Psikomotor Testi Yapısı Prensibi

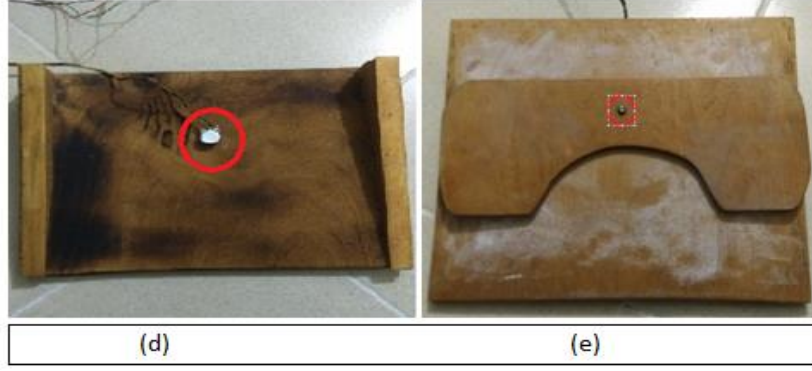
A. Pedal Düzenegi

Psikomotor testinin Unity ara yüzünde adayı temsil eden ve kullanıcı tarafından yönlendirilen bir uzay aracı bulunmaktadır. Araç ileri-geri ve sağ-sol olmak üzere toplam dört harekete sahiptir. Kullanıcı pedalı kullanarak aracı sadece sola ve sağa yönlendirebilmektedir. Üretilen pedalin yapım aşamaları Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Pedal Yapım Aşamaları

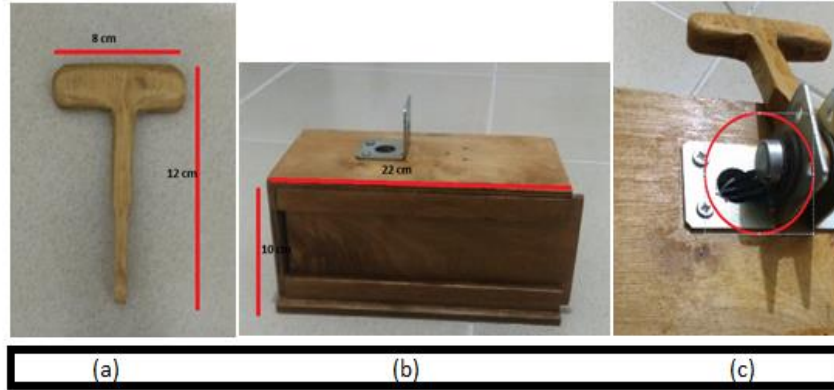
Şekil 6'da özel tasarım pedalin arka ve ön yüzü sırasıyla gösterilmektedir. Kullanıcı ayakları ile pedalı sağa ve sola doğru hareket ettirerek Unity üzerinde tanımlanmış olan uzay aracını psikomotor test ekranı üzerinde hareket ettirebilmektedir. Sağa ve sola dönüş hareketleri, Arduino Uno mikrodeneleyici kartı portuna bağlı olan potansiyometreden alınan değerler sayesinde belirlenmektedir. Ölçülen değerler [-100, -1] arasında iken araca sola dönüş, [1, 100] arasında iken araca sağa dönüş komutu verilmektedir.



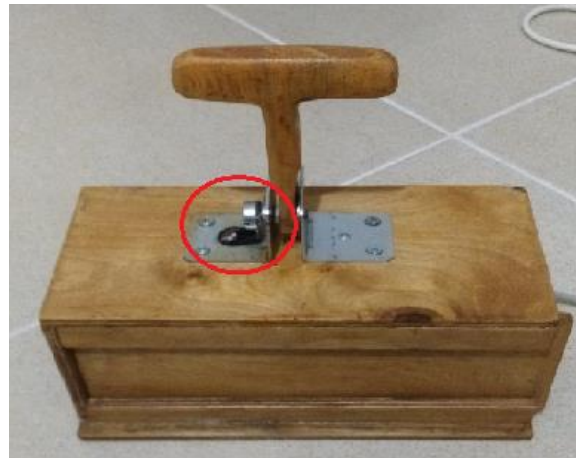
Şekil 6. Psikomotor Testi Pedal

B. El Çubuğu

Psikomotor testi ekranında Unity ara yüzünde kullanıcıyı temsil eden uzay aracı, el çubuğu sayesinde ileri-geri yönlendirilmesi yapılabilmektedir. İleri-geri hareketi gerçekleştirmek için 8 cm x 12 cm ebatlarına sahip tahtadan bir el çubuğu (Şekil 7.a) tasarlanmıştır. Tasarlanan el çubuğunu konumlandırmak, rahat kullanımını sağlamak ve aynı zamanda Arduino Uno mikrodenetleyici kartını muhafaza etmek için 10 cm x 10 cm x 22 cm ölçülerinde bir kutu tasarlanmış olup, el çubuğu bu kutu üzerine potansiyometre ile birlikte monte edilmiştir. El çubuğunun hareketleri sırasında Arduino Uno mikrodenetleyici kartı portuna bağlı olan potansiyometreden alınan değerler sayesinde belirlenmektedir. Okunan değerler [-100, -1] arasında iken araca ileri, [1, 100] arasında iken araca geri komutu verilmektedir. Şekil 7’de yapım aşamaları el çubuğunun yapım aşamaları gösterilmektedir. Şekil 8’de Önerilen psikomotor testlerine yardımcı uygulamaya uygun olarak tasarlanmış el çubuğu Şekil 8’de verilmektedir.

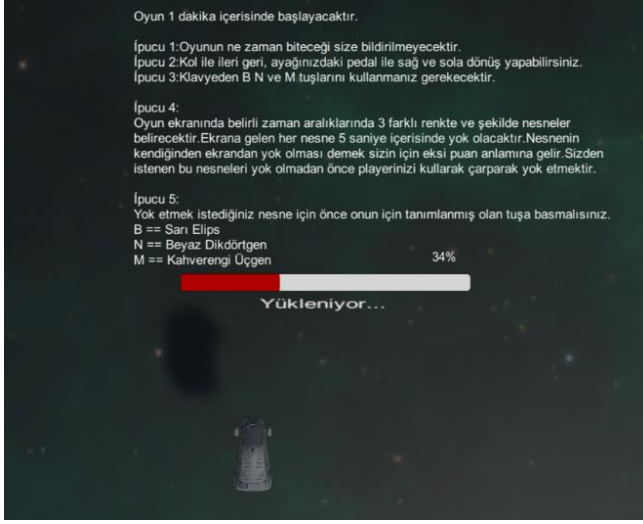


Şekil 7. El Çubuğu Yapım Aşamaları



Şekil 8. Psikomotor Testi El Çubuğu

Bu çalışmada geliştirilen psikomotor testlerine yardımcı uygulama, Şekil 9'da verildiği üzere kullanıcıya gösterilen bir bildirim formu (bilgilendirme) ile başlamaktadır. Bildirimde testin nasıl yapılacağı ve kullanılması gereken bileşen (fare, klavye, el çubuğu, pedal) veya bileşenler ile ilgili bilgiler sunulmaktadır. Bildirim ekranda 60 saniye boyunca görünmektedir. Kullanıcıların psikomotor testi sırasında işlemlerini gerçekleştireceği bir oyuncu aracı (Şekil 10) bulunmaktadır. Bu aracın kontrolü prototip olarak tasarlanan el çubuğu ve pedal ile sağlanmaktadır.



Şekil 9. Psikomotor Testi Bildirim Ekranı

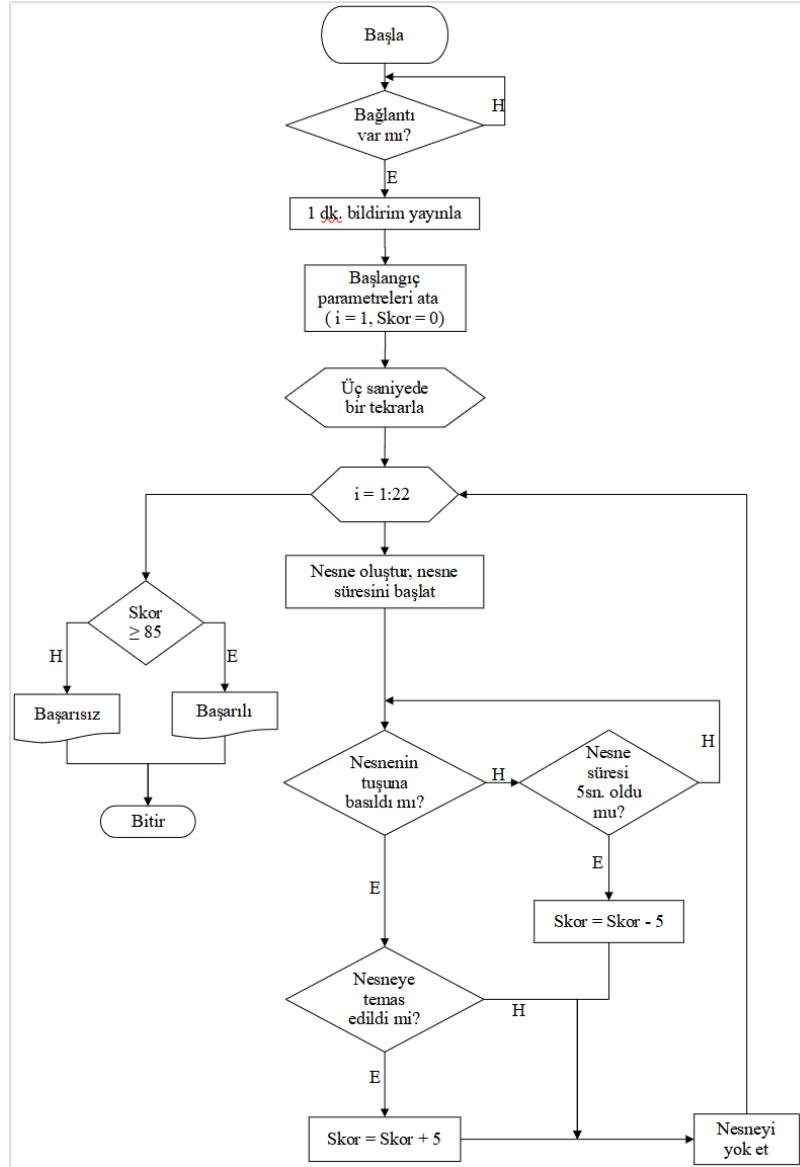


Şekil 10. Psikomotor Testi Oyuncu Aracı

Geliştirilen psikomotor testlerine hazırlık sisteminde üç farklı renkte ve şekilde nesnelere bulunmaktadır. Test sırasında ekranda gösterilen nesnelere 5 saniye içerisinde eğer bir işlem yapılamaz ise kendiliğinden yok olmaktadır. Her bir nesneyi yok edebilmek için bildirim ekranında kullanıcıya bilgisi verilen farklı tuşlar bulunmaktadır. Örneğin sarı elips nesnesini yok edebilmek için atanan tuş 'B' olarak önceden belirlenmiştir. Şekil 11'de önerilen sistemde kullanılan farklı renk ve şekillerdeki nesnelere gösterilmiştir. Şekil 12'de bu çalışmada önerilen sistemin akış diyagramı gösterilmiştir.



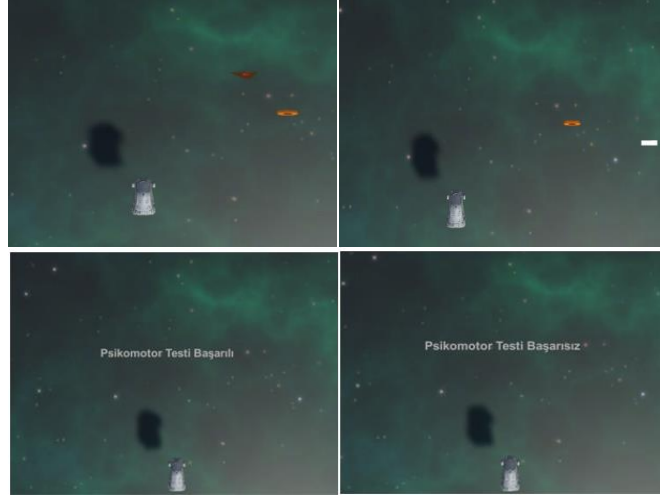
Şekil 11. Uygulamada Kullanılan Nesnelere



Şekil 12. Psikomotor Testlerine Yardımcı Uygulama Akış Diyagramı

Geliştirilen psikomotor testi Arduino Uno mikrodenetleyicisi ile Unity 3D oyun motorunun haberleşmesi ile başlamaktadır. Ardından ilk olarak kullanıcılar için bir dakika boyunca bir bildirim yayınlanır ve test bu süreçte beklemeye alınır. Bildirim ekranı kalktıktan sonra test için değişken atamaları yapılır.

Konumları rastgele olacak şekilde 3 saniyede bir ekrana üç farklı nesneden bir tanesi gelmektedir. Ekran gelen nesnelere kullanılan araç ile bir müdahale yapılmamış ise nesnelere görünür olduktan 5 saniye sonra ekrandan kaybolur. Nesnenin ekrandan kendiliğinden kaybolması aday için -5 puan anlamına gelmektedir. Her nesne türü için önceden tanımlanmış bir tuş bulunmaktadır. Aday ekrana gelen nesnelere, pedal ve el çubuğunu kullanarak yönettiği araç ile çarparak yok etmelidir. Adayın yönettiği araç nesneye çarpmadan önce o nesne için tanımlanmış olan tuşa en az bir kere basılması gerekmektedir. Bu şekilde bir çarpma işlemi yapılırsa nesne ekrandan kaybolur ve adayın skor hanesine 5 puan eklenir, Aksi takdirde nesne belirlenen 5 saniyelik sürenin sonunda kendiliğinden kaybolacaktır. Önerilen sistemin testleri sırasında ekrana 22 adet nesne ekrana getirilmesi ve adayların bu nesnelere 17 ve daha fazlasını çarparak yok ederse psikomotor testinden başarılı olmasının zorluk seviyesi olarak ideal olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 12'deki akış diyagramında gösterildiği gibi 22 nesnenin en az 17'sine kaybolmadan çarpabilen adaylar en az 85 puan olarak testten başarılı sayılmaktadır. Şekil 13'de geliştirilen psikomotor testinden farklı ekran görüntüleri verilmektedir. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'nde gönüllü öğrenciler üzerinde test edilen psikomotor test sistemine ait görüntüler Şekil 14'de gösterilmektedir.



Şekil 13. Psikomotor Testinden Ekran Görüntüleri



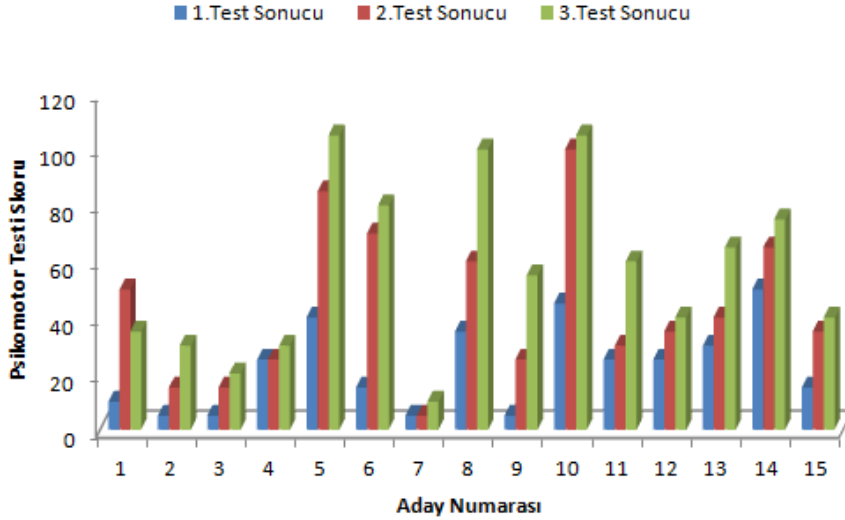
Şekil 14. Psikomotor testinin kullanıcılar üzerinde test edilmesine dair görüntüler

Bu çalışmada önerilen psikomotor testi Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi öğrencilerinden oluşan 21-25 yaş aralığındaki 15 aday üzerinde üçer kez test edilmiştir. Adaylar 22 yaş ortalamasına sahip olup, 5 kadın, 10 erkekten oluşmaktadır. Test sonuçları Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Adaylar Üzerindeki Test Sonuçları

Aday Numarası	Cinsiyet	Yaş	1.Test Sonucu	2.Test Sonucu	3.Test Sonucu	Başarı Durumu
1	Erkek	25	10	50	35	Başarısız
2	Erkek	22	5	15	30	Başarısız
3	Kadın	23	5	15	20	Başarısız
4	Erkek	25	25	25	30	Başarısız
5	Erkek	21	40	85	105	Başarılı
6	Erkek	22	15	70	80	Başarısız
7	Kadın	25	5	5	10	Başarısız
8	Erkek	25	35	60	100	Başarılı
9	Kadın	21	5	25	55	Başarısız
10	Erkek	21	45	100	105	Başarılı
11	Erkek	24	25	30	60	Başarısız
12	Kadın	24	25	35	40	Başarısız
13	Kadın	22	30	40	65	Başarısız
14	Erkek	25	50	65	75	Başarısız
15	Erkek	23	15	35	40	Başarısız

Tablo sonuçlarından da görüleceği gibi, adaylar arasında testi ilk kez denediklerinde başarılı skor elde eden bir aday olmamıştır. İkinci denemeler sonunda başarı oranı %13,33 olarak gerçekleşmiştir. Üçüncü test uygulamasında erkek adayların %30'u başarılı bir sonuç elde etmişken kadınlarda bu oran ikinci denemelerde olduğu gibi %0 olarak, genel başarı ise %20 olarak gerçekleşmiştir. Adaylar testi gerçekleştirirken ilk denemede ne kadar zorlanmış olduklarını belirtse de sonraki denemelerin öncesinde bir pratik yapılmış olması, pedal ve el çubuğunun hassaslığının ayarlanmış olması, aynı zamanda içeriğe daha hakim olmaları sebepleri ile testi daha rahat ve kolay gerçekleştirdiklerini belirtmişlerdir. Örneklem sayısı artırılarak başarı oranlarının daha güvenilir olması öngörülmektedir. Şekil 15'de bu çalışma kapsamında geliştirilen psikomotor testlerine hazırlık sisteminin 15 aday üzerindeki 3 tekrarlı test sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 15. Psikomotor testlerine hazırlık sistemi sonuçları

III.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışma sonucunda, Hava Harp Okulu mülakatlarında yapılan psikomotor testlerine hazırlık yapılmasına uygun bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem, kullanıcıların gerçek psikomotor testlerde karşılaştıkları tüm senaryolara yönelik olarak tasarlanmıştır. Bu sayede, kullanıcılar gerçek psikomotor testlerinde karşılaştıkları senaryolara alışmış olacaklardır ve gerçek testteki performanslarını arttırmak için gerekli olan yetenekleri geliştirmiş olacaklardır. Aynı zamanda, sistemdeki senaryoların sürekli değişen yapısı sayesinde, kullanıcıların gerçek testte karşılaşılabilecekleri senaryolara herhangi bir şekilde alışamaması engellenmiş olur. Bu nedenle, gerçek psikomotor testi için ezber yapma riski oldukça düşüktür.

Bu sistem için bir algoritma kurgulanmış olup, testin uygulama aşamasında kullanılan pedal ve el çubuğu özel olarak tasarlanmıştır. Testte baraj skoru olarak 85 puan belirlenmiştir. Aday, test sırasında kendisine gösterilen 22 adet nesneden 17 adet nesneyi istenilen şekilde yok ettiğinde psikomotor testinden başarılı olur. Önerilen sistem adaylar üzerinde test edilmeden önce adaylara psikomotor ve psikomotor testi hakkındaki bilgileri

sorulmuştur. Adayların hiçbirinden bu konu hakkında bilgi sahibiyim şeklinde bir geri dönüş alınmamıştır. Psikomotor gelişim ve psikomotor testinin önemi ne yazık ki bilinmemektedir. Psikomotor testinin bilgisayar mühendisleri tarafından geliştirilmiş olması öngörülürken, bilgisayar mühendisliği öğrencilerinin bu konu hakkında bilgi sahibi olmaması bu testlerin yaygınlaşmamış olduğunun bir göstergesidir. Bu testler her ne kadar savaş pilotlarına yönelik görünse de psikomotor adı altında farklı meslek gruplarına da o mesleğin adaylarına yeteneklerini test etmek amaçlı uygulanmaktadır. Çalışmada önerilen sistem, sistemi kullanan öğrencilerin psikomotor hakkında bilgi sahibi olmaları ve psikomotor becerilerini geliştirebilecekleri uygulamaların varlığı konusunda bilinç düzeylerinin artmasına katkı sağlamıştır. Bunun yanı sıra uygulamayı kullanan öğrencilerin her tekrarda daha başarılı sonuçlar aldığı gözlemlenmiş, dolayısıyla önerilen sistemin kullanıcı becerilerinin gelişmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Sistemin becerileri arttırabileceği tahmin edilse de sadece bir oyun senaryosundan oluşması nedeniyle uzun vadeli olarak kullanıcıların sıkılarak ilgisini kaybetme ihtimalleri öngörülmektedir. Bu çalışmanın güçlü yönlerinden biri, pilot adaylarının psikomotor becerilerini geliştirmelerine yardımcı olabilecek bir yardımcı sistem geliştirilmiş olmasıdır. Geliştirilen bu sistem, pilot adaylarının el-ayak-göz koordinasyonunu, dikkat ve tepki hızını daha doğru şekilde değerlendirmesini ve bu becerilerini geliştirmesini sağlamıştır. Zayıf yön olarak, sistemin sadece 15 gönüllü üzerinde denenmiş olması ve geniş bir popülasyon üzerinde test edilmemiş olması düşünülebilir. Sadece bilgisayar klavyesi, el ve ayak test sürücülerini ile kontrol edilmektedir, diğer kontrol araçlarının kullanılması da araştırılması gereken bir konu olabilir.

Gelecek çalışmalarda önerilen sistem başta zihinsel engelli kişilere ya da farklı meslek gruplarına uygun olarak geliştirilebilir. Zihinsel engelli insanların psikomotor becerileri ve psikomotor becerilerin gelişimleri sağlıklı bir kişiye göre daha yavaş olmaktadır. Bu sebepten engelli kişilerin özel eğitim veren kuruluşlarda eğitim görmeleri gerekmektedir. Bu eğitimlerin dışında zihinsel engelli kişilerin evlerinde de kullanabileceği, bilgisayar üzerinden psikomotor becerilerini geliştirebileceği ve bu sürecin gözlemlenebileceği bir eğitim platformu oluşturulabilir. Yapılacak çalışmalarda dikkat edilmesi gereken önemli kriterlerden biri hangi yeteneğin gözlemlenmek istendiğidir. Psikomotor testleri geliştirilebilir, ihtiyaç olan gruplara ve istenilen her alana uygun olarak modellenmesi ve tasarımı yapılarak çoğaltılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kara, B., & Sucu, N. (2016). Physical Education and Young Children in Terms of Motor Development. *Uluslararası Medeniyet Çalışmaları Dergisi*, 1(1), 80-129.
- [2] Hunter, D. & E. Burke. (1994). Predicting Aircraft Pilot-Training Success: A meta-Analysis of Published Research. *The International Journal of Aviation Psychology*, 4 (4), 297-313.
- [3] Martinussen, M. (1996). Psychological Measures as Predictors of Pilot Performance: A Meta Analysis. *The International Journal of Aviation Psychology*, 6 (1), 1-20.
- [4] Ataman, S. (2000). A Model For Selection Of Pilot Candidate In Army Aviation, Unpublished. Yüksek Lisans, Yeditepe University, Institute of Science and Engineering.
- [5] Hilton, T. F., & Dolgin, D. L. (1991). Pilot Selection in the Military of Free World. In R. Gal & A.D. Mangelsdorff (Eds). *Handbook of Military Psychology*. New York: Wiley, 81-101.
- [6] Bekmezci, I. (1999). Officer and Pilot Selection System in Turkish Air Force. *RTO HFM Workshop on Officer Selection*, Monterey, USA, 9-11.
- [7] *Hava harp okulu psikomotor testi nedir*. <https://polisaskeradaylari.com/hava-harp-okulu-psikomotor-testi-nedir-gecme-onerileri/> (10.05.2021)
- [8] Melton, A. W. (1947). Apparatus tests. Army Air Forces Washington Dc Aviation Psychology Program.
- [9] Fleishman, E. A., & Hempel Jr, W. E. (1956). Factorial analysis of complex psychomotor performance and related skills. *Journal of Applied Psychology*, 40(2), 96.
- [10] Caretta, T.R. (1992). Understanding the Relations Between Selection Factors and Pilot Training Performance: Does the Criterion Make a Difference? *The International Journal of Aviation Psychology*, 2 (2), 95-105.
- [11] Caretta, T. & Ree., M. J. (1996). Factor Structure of the Air Force Officer Qualifying Test: Analysis and Comparison, *Military Psychology*, 8(1), 29-42.
- [12] Mutha, R.V., Kumar,N. & Pareek,P. (2016). Real Time Standalone Data Acquisition System for Environmental Data. *IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, 4-6 Haziran, Delhi.
- [13] Şimşek, E. (2010). Pilotların uçuş performansının belirleyicileri olarak zeka, psikomotor yetenek ve kişilik faktörleri arasındaki etkileşim. 3. *Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı*, 16 Eylül, Eskişehir.
- [14] Şimşek, E., Çoklu (2010). Performansa Dayalı Pilot Seçim Ölçütleri. 3. *Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı*, 16 Eylül, Eskişehir.

- [15] Kale, M. , Sümer, N. & Sümer, H. C. (2005). Kara Kuvvetleri Havacılığında Uçuş Eğitim Performansı Belirleyicilerinin Analizi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 4(1), 85-103.
- [16] Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. (2014). *Pilot eğitimi almak isteyenler önce testten geçecek*. <https://web.shgm.gov.tr/tr/haberler/2050-pilot-egitimi-almak-isteyenler-once-testten-gececek>, (13.05.2021).
- [17] THK Uçuş Akademisi. *Zorunlu olan psikomotor testleri*. <http://www.tuathk.com/TR%2C462/sht-1t-geregi-alinmasi-zorunlu-olan-psiko-motor-testler-.html>, (15.05.2021).
- [18] BASEOPS. USAF Pilot Training FAQs. <https://www.baseops.net/bat/>, (10.05.2021).



Araştırma Makalesi - Research Article

Hamamtepe (Çanakkale) Kuvars Ocağında Tespit Edilen Paleo-Mikroorganizmalara Ait İksel Bulgular: Ortam Yorumlarına Katkı

Preliminary Findings of Paleo-Microorganisms Detected in the Hamamtepe (Çanakkale) Quartz Deposit: Contribution to Environmental Interpretations

Hatice Ünal Ercan^{1*}, Gönenç Göcmengil², Kübra Yayan³

Geliş / Received: 11/06/2022

Revize / Revised: 23/06/2023

Kabul / Accepted: 24/06/2023

ÖZ

Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Biga Yarımadası, epitermal çözeltilerle ilişkili gelişen metalik cevherlerin yanı sıra asit-sülfat tipte akışkanlardan türetilmiş kaolin yatakları ve alkali-klorür tipte akışkanlardan türetilmiş silika çökelleri bakımından oldukça zengindir. Biga civarındaki Hamamtepe Kuvars Ocağı ve çevresindeki sinter höyükleri Etili jeotermal sistemiyle ilişkili olarak gelişmiştir. Hamamtepe Ocağı'na ait kuvarsların paleo-mikrofaunasını belirlemek ve litofasiyelerin oluşum ortamlarını tespit etmek amacıyla mineralojik ve petrografik incelemeler yapılmıştır. Bu çalışmalarla kuvars mineralleri yüzeyinde bakteriyel aktivite ile ilişkili olarak gelişmiş ağsal yapılar, hifler, biyofilm kalıntıları ve küresel diatom/polen? tespit edilmiştir. Hamamtepe ve çevresinde tespit edilen paleo-mikrofaunaya ait kalıntılar bölgede meydana gelmiş olan silika çökeliminde abiyotik şartlar yanında biyotik faaliyetlerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, biyotik faaliyetlere bağlı silika çökelim ortamının proksimal aprona ait su çıkış kanallarının hemen yakınlardaki yamaçlarda veya kanallarda termofilik canlılar tarafından alkali-klorür tipte nötr sularda, yaklaşık olarak 60-95 °C aralığında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- Silika sinter, Paleo-fauna, Litofasiyes, Biga Yarımadası

ABSTRACT

The Biga Peninsula, in northwest Türkiye, is enriched with metallic ore deposits related with epithermal systems and with kaolin and silika deposits derived from acid-sulphate and alkali-chloride fluids respectively. Hamamtepe Quartz Quarry and large sinter mounds in Biga have developed within the Etili geothermal systems. Mineralogical and petrographic studies were carried out to determine the structure of the Hamamtepe quartz and to identify the lithofacies. The network structures that developed on the surfaces of the Hamamtepe quartz sample and intertwined with these networks, hyphae, biofilm structures and spherical diatom/pollen? are identified to be resulted from the bacterial activity. These findings revealed the existence of a poorly known paleo-fauna in the region. The remains of paleo-microfauna obtained from Hamamtepe and its surroundings revealed that the silika precipitation in the

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: hunalercan@ktun.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-6775-1798>)

Kimya Teknolojisi Bölümü, Konya Teknik Üniversitesi, Teknik bilimler Meslek Yüksek Okulu, Konya, Türkiye

²İletişim: gonenccgocmengil@istanbul.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-1955-8026>)

Bilim Tarihi Bölümü, Edebiyat Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

³İletişim: kokur@ogu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-7003-6437>)

Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

region was effective in biotic activities as well as abiotic conditions. Documented fossil micro-structures and remains deposited. The documented fossil microstructures and remains revealed that the silica precipitation environment due to biotic activities occurs in the water pools located on the slopes of the proximal apron right next to the water outlet channels or by the thermophilic creatures living in the channels in alkaline-chloride type neutral waters at a range of approximately 60-95 °C.

Keywords- *Silica Sinter, Paleo-microfauna, Lithofacies, Biga Peninsula*

I. GİRİŞ

Türkiye'nin kuzey-batısında yer alan Biga Yarımadası Oligo-Miyosen aralığında hidrotermal çözeltilerin oldukça yaygın olduğu bir bölgedir. Bu çözeltilerin etkisi ile bölgede birçok alterasyon kuşakları meydana gelmiştir. Genel olarak bu zonlar Alp-Himalaya Dağ Kuşağı içerisinde gelişmiş olan Tetis Metalojenik Kuşağı'nın bir parçasıdır ve tüm bu kuşak metalik cevherler ve endüstriyel hammaddeler bakımından oldukça zengindir [1,2].

Biga Yarımadası'nda altere zonlar boyunca Au, Ag, Mo ve Cu gibi metalik cevher zenginleşmeleri ile beraberinde sıklıkla kaolin, kuvars gibi endüstriyel minerallerin oluşumu gerçekleşmiştir [1,2]. Her iki oluşumunda gelişimini sağlayan mekanizmanın, bölgedeki kırık çatlak zonlar boyunca etkili olan asit-sülfat ve alkali-klorür bileşimli hidrotermal kökenli kaynaklar olduğu iyi bilinmektedir [1-4]. Düşük sülfidasyondan yüksek sülfidasyona kadar değişen bir aralıkta gelişmiş olan bu epitermal oluşumların çoğu Oligo-Miyosen yaşlı lavlarda ve/veya piroklastik çökellerde gerçekleşmiştir [5]. Bu volkanik kayaçların gözeneklilik ve porozitesiyle ilişkili olarak değişen oranlarda alterasyon gerçekleşmiştir.

Bölgede asit-sülfat çözeltileri etkisi ile gelişen en yaygın alterasyon kaolenleşmedir. Kaolenleşmeyle ilişkili olarak kaolin grubuna ait dikit, hallosit ve kaolinit mineralleri bölgede sıklıkla işletilen endüstriyel mineraller olmuştur. Ayrıca epitermal alterasyonun son ürünü olan alkali-klorür çözeltilerin etkisi ile bölgede silika sinter çökelimleri gerçekleşmiştir [4]. [4]'de Hamamtepe Kuvars Ocağı (HKO) ve çevresinde yaptığı çalışmada alkali-klorür çözeltileri ile ilişkili olarak çökelen silika sinterlerin litofasiyes tanımlamalarını yapmıştır. Bu tanımlamalarda proksimal aprona ait litofasiyelerin varlığı tespit edilmiştir. Orta ve distal aprona ait fasiyelerin erozyon vb. nedenlerle zamanla yok olduğu belirtilmiştir. Yine bu çalışma kapsamında kuvars minerallerinin yüzeyinde çeşitli mikro organizmaların varlığını FE-SEM çalışmaları ile tespit edilmiş fakat bu fosillerin detaylı tanımlamaları ve ortam yorumlamasına olan katkısı irdelenmemiştir.

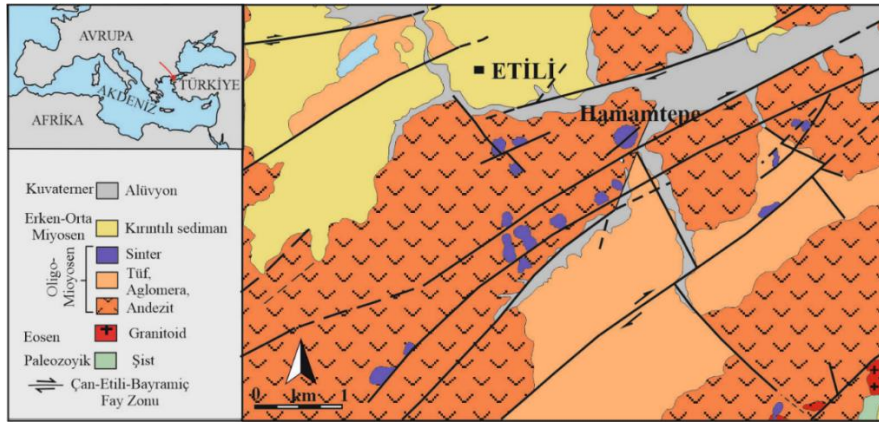
Silika sinterlerin çökelişi esnasında yüksek sıcaklık, yüksek veya düşük pH gibi aşırı koşullara uyum sağlayabilen mikroorganizmaların gelişiminin gerçekleştiği bilinmektedir [6,7]. Bu bakteriler bazen oldukça kalın biyofilmler ya da matlar şeklinde gözlenir [8-13] ve bu yapılar paleo-sinter ortamının belirlenmesinde kullanılabilir. Fosil ve güncel jeotermal sinterlerinin en iyi gözlendiği bölgeler olan Yeni Zelanda'daki Taupo Volkanik Bölgesi'nde, El Tatio, Şili'nin kaplıcalarında ve gayzerlerinde, ABD'de Yellowstone Ulusal Parkı'nda ve Kamçatka Rusya'daki Uzon Kalderası'nda silika sinterlerin çökelişi esnasında bu mikroorganizmaların varlığı gözlemlenmiştir [14-18]. Tüm bu bahsedilen sinter çökelişi alanları içerisinde gözlenen mikroorganizmalara ait güncel- veya paleo- yapılar çoğunlukla filamentler, çubuksu yapılar ve kokoidlerden oluşan termofilik mikrobiyal biyofilmlerden oluşur. Biyofilmlerin oluşumuna neden olan organizmalar, genellikle gayzerlerin sıcak su çıkışının havalandırma açıklıklarına yakın olan bölgelerinde yaşamaya uyum sağlamışlardır [19]. Silikaca zengin sıcak su çıkışının olduğu bölgeler, sıcak su çıkış kaynağından uzaklaştıkça termal gradyanla da ilişkili olarak üç temel litofasiyeye ayrılır, bunlar; 1) proksimal apron (65-100°C), 2) orta apron (45- 65°C) ve son olarak 3) distal apron (<45°C) olarak tanımlanmıştır [18-20]. Sinterlerde tespit edilen biyotik yapılar özellikle paleo-sinterlerin litofasiyelerinin tanımlanmasında ve oluşum ortamlarının belirlenmesinde kullanılabilirler. Çünkü sıcak su çıkış alanından uzaklaştıkça değişen fiziko-kimyasal şartlarla ilişkili olarak mikrobiyaya türü de değişmekte ve farklı morfolojide litofasiyes oluşumuna neden olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Etili Bölgesi'nde varlığı tespit edilen paleo-mikrofaunanın karakterizasyonunu yapmak ve silikaların çökelişi ortamlarının yorumlanmasına katkı sağlamaktır.

II. BÖLGE JEOLJİSİ

Biga Yarımadası, Anadolu'nun kuzeybatısında yer almakta olup, jeolojik olarak Eosen döneminden önce bir araya gelmiş yaşlı kıtasal birliklerin ve farklı yaştaki kenet zonlarının bir arada olduğu bir alan olarak tanımlanmaktadır [21-24]. Biga Yarımadası ve içerisinde bulunduğu Marmara Bölgesi büyük bir ada sistemi olarak Avrupa ile Anadolu/Ön Asya bölgelerindeki Senozoik yaşlı paleofauna ve canlı geçişlerine ev sahipliği yapmış önemli bir alan olarak öne çıkmaktadır [25]. Çok dinamik bir jeolojik geçmişe sahip bölge Senozoik boyunca yoğun magmatik aktivite ve tektonik deformasyonları da bünyesinde barındırmaktadır. Bölgedeki Senozoik magmatizma, kalk-alkalen ve hafif alkali özellikler sunarak Eosen dönemi boyunca etkin bir şekilde bölgede gözlenmektedir [26,27]. Bu dönemdeki magmatizma hem su-altında ya da sığ denizel ortamda gelişen,

volkanik ve piroklastik birimlerce hem de granitoidlerce temsil edilir [26-28]. Oligo-Miyosen ve geç Miyosen dönemlerinde bölgedeki magmatizma farklı aralıklarla ve kesikli bir şekilde devam etmiştir [29-31]. Magmatik birimler, andezitler, bazalt, tüf, aglomera ve benzeri türdeki kayaların birikimi ve tipik dalma-batma sonucu gelişen magmatik birimlere özgü, ağır nadir toprak elementlerinin az miktarda olduğu (Nb-Ta ve Hf-Zr'un fakir olduğu) ve hafif nadir toprak elementlerce zenginleşmiş bir karakter sunmaktadır. Bu dönemden sonra olasılıkla kıta kabuğunun incelmeye ve astenosferik alanların da ergimeye katılması ile daha alkali karakterli magmatik birimler de gelişmeye başlamıştır [5]. Senozoyik dönemi boyunca Helenik yayın dalma batması ile kontrol edilen Ege bölgesi ve Batı Anadolu tektoniği, genel olarak magmatik birimlerin öncelikle yay ekseninde sonrasında ise yay ardı-havza tektonizması ile şekillenmiştir [32]. Kuzey Anadolu Fayı'nın güney kolunun geçtiği bölgedeki çok fazlı eski deformasyon fazları da gözlenmiştir [22]. Kuzey Anadolu Fayı'nın bölgedeki gelişimi sırasında bu eski zayıflık zonlarını kullanarak ilerlediği önerilmektedir [33]. Geç Miyosen ve sonrasındaki dönemlerde Anadolu'nun tektoniğini yöneten önemli unsurlardan olan Kuzey Anadolu Fayı'na verev olarak gelişmiş olan KD-GB uzanımlı "en-echelon" fay sistemlerinin, bölgede farklı magmatik fazlarda, farklı magmatik-hidrotermal sistemlerin yüzeye ulaşmasına ve killeşme, sinterleşme ve silisifiye olma süreçlerine yardımcı olduğunu göstermektedir [4]. Miyosen boyunca farklı dönemlerde gerçekleştiği gözlenen bu hidrotermal alterasyon olayları sonucunda kil yatakları ve cevherce zengin sistemlerin gelişmesinin yanı sıra, bu sıcak sistemlerde yer alan paleo-mikrofaunanın da izlerinin belgelendiği nadir alanlar tespit edilmiştir. Bu paleo-mikrofaunal birlikler özellikle Çanakkale ili ve çevresinde silika sinterlerin yayılım gösterdiği bölgelerde tespit edilmiş olup, bu sinterlerin morfolojik özelliklerine göre litofasiyes tanımlamaları yapılmıştır [4].



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru ve jeolojik haritası [4,34,35].

III. METOT

Mineralojik ve mikrofosil incelemeleri için gerekli temsili on kuvars numunesi Hamamtepe ocağına ait açık ocaktan ve bu ocak etrafında bulunan silika höyüklerinden toplanmıştır.

Numunelere ait mineralojik ve petrografik özelliklerin ortaya konulması için örnekler MTA ince kesit laboratuvarında hazırlanmıştır. İnce kesit haline gelen örnekler Leica DM4500P model polarizasyon mikroskobu tek ve çapraz ışık altında incelenmiştir. Örneklerin mineralojik bileşimlerini belirleyecek olan XRD incelemeleri, CuK α radyasyonu, 40 mA, 40 kV, tarama hızı 0,005°, zaman/tarama 0,1 sn, 0,2 mm birincil slit çalışma koşullarında Bruker D8 Advance model X-ışını kırınımı (XRD) cihazında ve LynxEye dedektör kullanılarak İstanbul Teknik Üniversitesi'nde (İTÜ) gerçekleştirilmiştir. Kuvarsların ve mikrofosillerin mikro-morfolojik özelliklerini belirleyecek olan FE-SEM incelemeleri, Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma Merkezi'nde (BİTAM) ZEISS GeminiSEM 500 model FE-SEM cihazı kullanılarak, her bir element için 15 kV hızlandırma gerilimi, 5-15 mA akım ve 10-20 s sayma süresi koşullarında gerçekleştirilmiştir. İridyum kaplama yine aynı laboratuvarında 22 °C'de, 0.06 nm/s'de, ~ 4.23 nm kaplama kalınlığı olacak şekilde Leica EM ACE600 püskürtmeli kaplayıcı kullanılarak sabitlenmiştir.

IV. BULGULAR

Hamamtepe Kuvars Ocağı (HKO) yaklaşık olarak çalışma alanının ortasında yer alır ve bu ocakta bulunan kuvarslar Oligo-Miyosen yaşlı Çan volkanikleri içerisindedir (Şekil 1). Ocağın kapladığı alan yaklaşık olarak 105.000 m², derinliği ise 50 m'dir. Ocağın çevresinde fay zonu boyunca yükselmiş sinter höyükleri bulunmaktadır (Şekil 2a,b). Ocağın tabanından alınan örneklerin çoğu gri ve koyu gri olup genellikle masif ve gözeneksiz, tabandan üst kesimlere doğru bantlı, breşik, yumrulu ve gözenekli yapılar daha yaygın olarak gözlenir. Ocak dışında işletme tarafından tahrip edilmemiş alanda sıklıkla eski sıcak su çıkışı işaret eden boşluklar belirlenmiştir (Şekil 2d). Ayrıca, ocağın üst kısımlarında kuvars minerali ile kil ve demiroksit mineralleri de oldukça yaygındır (Şekil 2d).

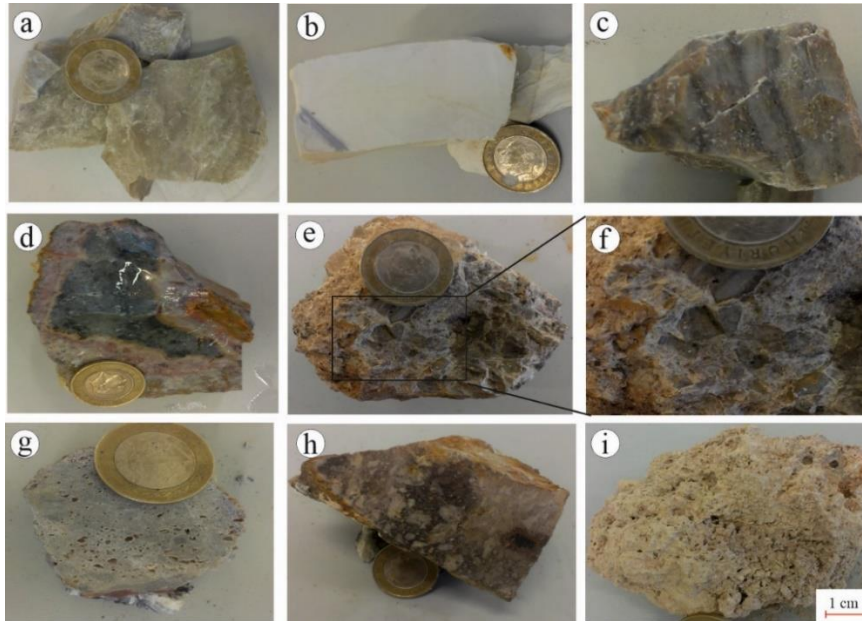
Hamamtepe Ocağı'nın merkezinden ve güneyinden KD-GB uzanımlı Çan-Etili Fayı'nın paralel kolları geçmektedir. Ayrıca bu faya dik gelişmiş ocak içerisinde birçok fay ve kırık sistemi bulunmaktadır. Ocak tam bu fay zonlarının kesişim noktalarında yer alır. Ocağın güneyinde bulunan termal otelden hala sıcak su çıkışı devam etmektedir.

A. Hamamtepe Ocağı'nda Tespit Edilen Litofasiyeler

Hamamtepe Ocağı ve çevresinde bulunan sintir höyüklerinden çoğunlukla proksimal aprona ait litofasiyeler tespit edilmiştir. Bu litofasiyeler; silis sızıntı yapıları, su çıkış kanalları, nodüler yapılar ve iyi laminalanmış yapılar, sintir klastik breşik yapılar ve silisleşmiş volkanik kayalardır (Şekil 3) [4]. Ayrıca proksimal apron dışında distal apronu temsil eden mat yapıları da el örneklerinde tespit edilmiştir (Şekil 3i).



Şekil 2. Hamamtepe Ocağı'na ait görüntüler, a) Ocak ve etrafında tespit edilen sintir höyüklerinin genel görüntüsü, b) Henüz işlenmemiş silika çökelleri, c) İşletilmekte olan ocak iç kısmının görüntüsü, d) İşletilmemiş kısımlarda tespit edilen sıcak su çıkış kanalları, f) Ocağın yamaçlarında yer alan yumurta şekilli silika çökelleri ve etraflarını saran kil.

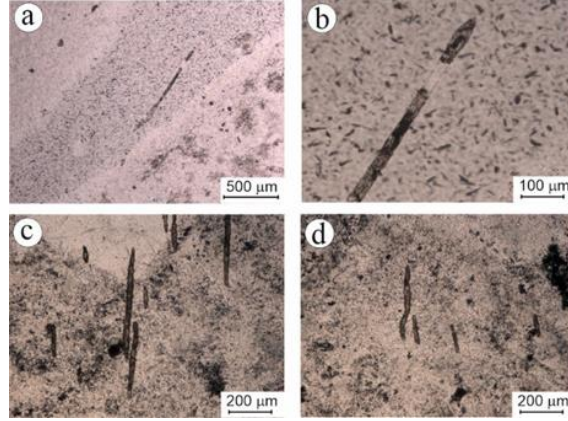


Şekil 3. Hamamtepe Ocağı içinden alınan örneklere ait görüntüler, a-b) Gri ve beyaz renkli masif kuvars, c) İyi laminalanmış kuvars, d) Silika sızması sonucu oluşan zonlanmalar, e-f) Breşik yapı, g) Boşluklu yapılu kuvars, h) Silisifiye andezit ve i) Oldukça yumuşak bol gözenekli ve kovuklu silika çökeli.

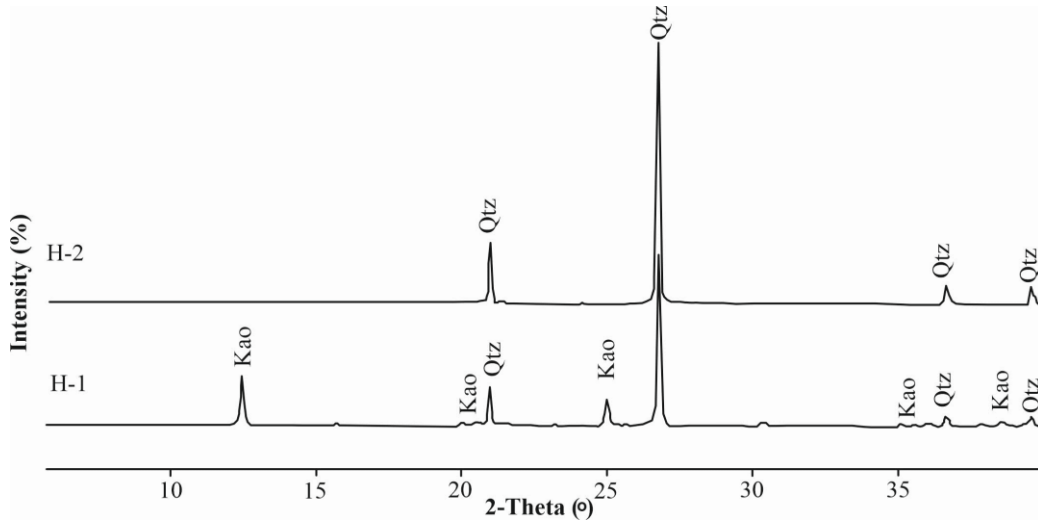
B. Mineraloji ve Petrografi

İnce kesitlerde iki tip organik yapı kalıntısı tespit edilmiştir. Bunlardan biri mikro kuvarslar içinde tespit edilen iğne şekilli kalıntılardır (Şekil 4a, b), ikincisi ise çubuksu organik kalıntılara ait yapılar (Şekil 4 c,d). Dikenlerin uzunlukları yaklaşık olarak 1000 μm ' ye kadar ulaşmaktadır. Çubuksu yapıların uzunlukları ise 20-400 μm ' arasında değişmektedir.

Örneklerden yapılan XRD çözümlenmelerinde yaygın olarak kuvars minerali tespit edilmiş olup, herhangi bir kuvars polimorfu tespit edilmemiştir [2]. Kuvars mineralinin yanında çok az miktarda kaolin minerali belirlenmiştir (Şekil 5) [35].

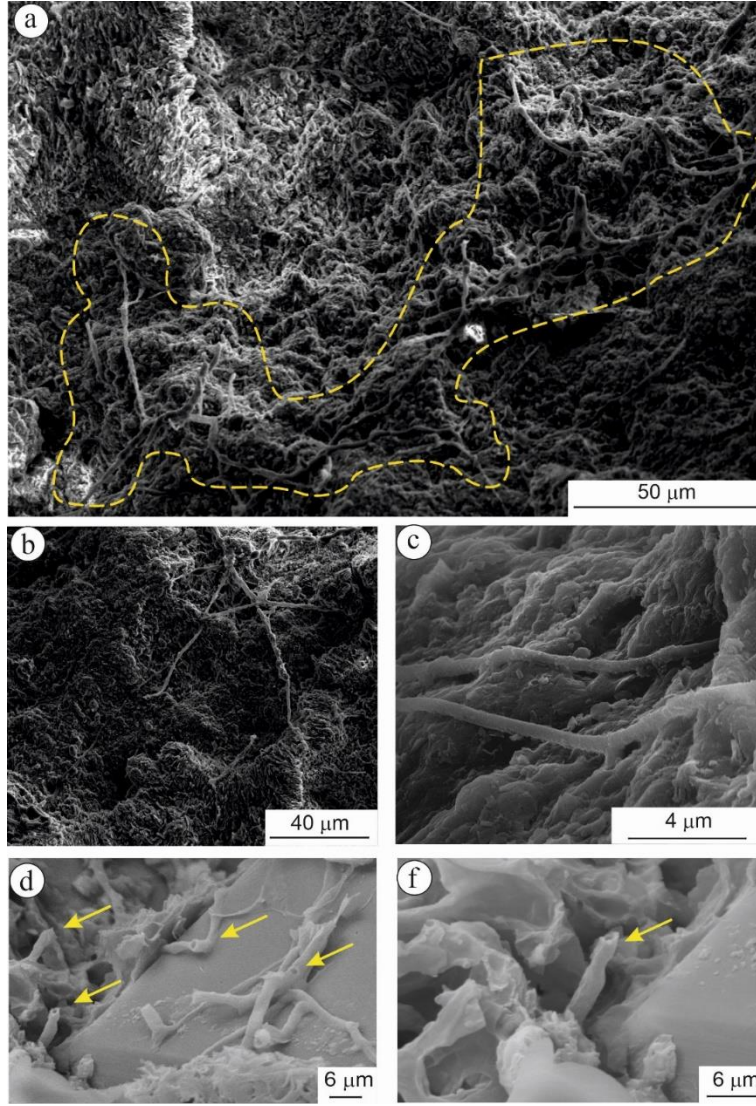


Şekil 4. İnce kesitlerde tespit edilen iğnemsî ve çubuksu yapılar, a-b) İğnemsî yapılarla ait tek nikol görüntüleri ve c-d) Çubuksu yapılarla ait tek nikol görüntüleri.

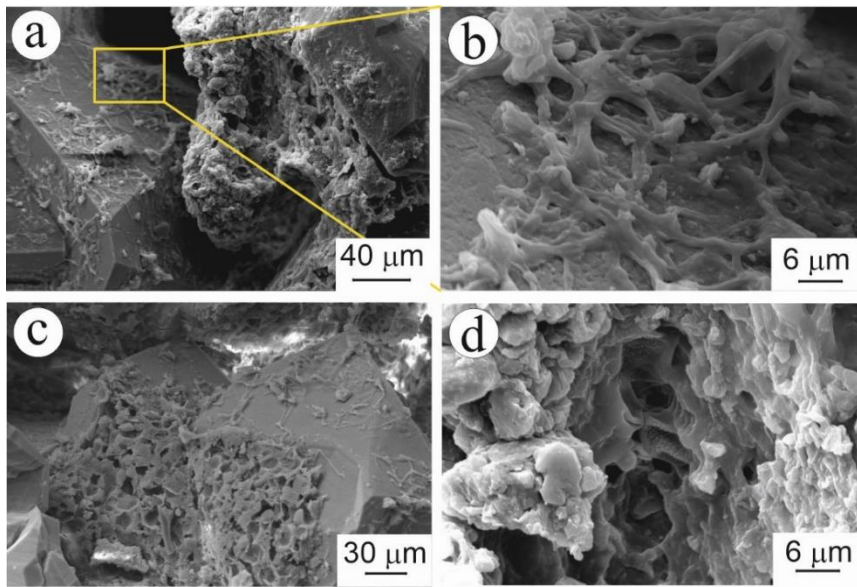


Şekil 5. Hamamtepe ocağından alınan örneklerle ait XRD çözümlenmeleri. Qtz: kuvars, Kao: Kaolen

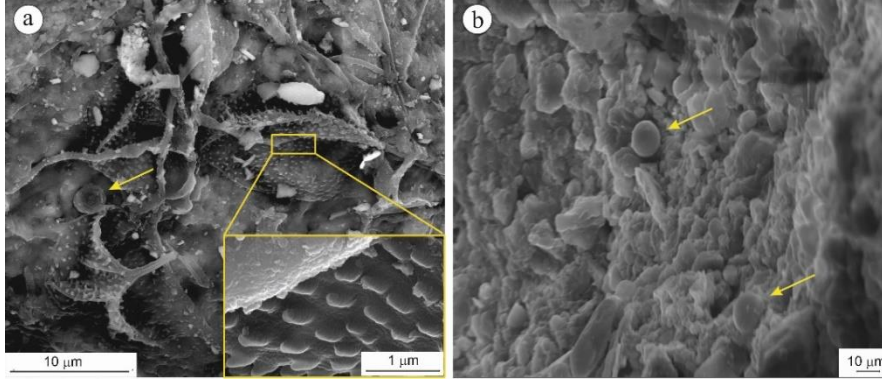
Yapılan FE-SEM mikromorfolojik incelemelerinde kuvars mineralleri üzerinde gelişmiş, oldukça farklı mikroorganizmalar tarafından yapılmış kalıntılar tespit edilmiştir. Bunlardan en belirginini funguslara ait lifsi ve ağsı yapılardır (Şekil 6a-c). Bu yapılar kuvarsların üzerinde ve boşluklarında oldukça yaygın olarak gözlenmektedir. Lifsi yapılar ilerledikleri bazı noktalarda boğumlu yapılar sunmakta zaman zaman topak görünümü sergilemektedir. Kuvarslar üzerinde tespit edilen bir diğer yapı ise hiflerdir (Şekil 6d-e), bu yapı ağsı yapılarla birlikte gelişmiş olup açık uçları bir baca gibi minerallerden yukarı uzanmaktadır. Tüm bu yapılarla birlikte sıklıkla gözlemlenen bir diğer yapı ise bakteri-fungus biyofilmleridir (Şekil 7a-c). Lifsi ve ağsı yapılar arasında oldukça küçük mikro kalıntılar belirlenmiştir (Şekil 7c-d). Bunlar adeta bir mat gibi tüm minerallerin yüzeyini kaplayabilmektedir. Bazı yüzeylerde çökmüş, dallanmış mantar iplikçikleri/ağları kırıntılı yaprak(?) parçalarının etrafına dolanmıştır (Şekil 8a). Ayrıca bu örneklerde küresel diatomlar veya polenler? tespit edilmiş olup, küresel yapıların çapları 5-6 μm olarak belirlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 6. Mikrofosillere ait FE-SEM görüntüleri a-c) özşekilsiz kuvarslar üzerinde yayılan ağsal yapılar, d-e) özşekilli kuvars kristali üzerinde gelişmiş hiflere ait görüntüler.



Şekil 7. Mikrofosillere ait FE-SEM görüntüleri a-c) Özşekilli kuvars üzerinde gelişmiş mikrofosillere ait biyofilmler, c-d) Biyofilmler arasında yer alan kırıntı görüntüleri.



Şekil 8. Mikrofosillere ait FE-SEM görüntüleri, a) ağsal yapılar arasında kalmış organik kalıntı ve polen? (sarı ok ile işaret edilmektedir) , b) küresel diatomlar (sarı ok ile işaret edilmektedir).

V. TARTIŞMA VE SONUÇ

HKO yaklaşık olarak 105.000 m²'lik bir alanda açığa çıkan silisyumca zengin kayaçları ile Etili ve çevresi hidrotermal çözelti faaliyetlerinin açık bir kanıtıdır (Şekil 1). Bu ocağa ait örneklerin polarizan mikroskop, X-ışın kırınımı ve alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapılan analizleri ve incelemeleri örneklerin mineralojik ve mikromorfolojik özelliklerinin ortaya konmasına yardımcı olmuş ve hidrotermal aktiviteye bağlı olarak gelişen paleo-mikroorganizmaların varlığı ortaya konmuştur.

Sinter tortuları genellikle su tablasıyla yer yüzeyinin kesiştiği alanlarda çöklerler. Silikaca aşırı doymuş, nötr pH'a yakın alkali-klorürlü termal akışkanlar su kanalları aracılığıyla yer yüzeyine ulaşır ve dışarı atılır. Bu aşamada biyotik ve abiyotik olarak kimyasal amorf silika çökelişi gerçekleşir [20]. HKO ve civarında yaygın olarak gözlenen sinterlerin oluşumu ağırlıklı olarak düşük sülfidasyonlu epitermal sistemlerin karasal ortamda gözlenen son ürünleridir. Silisli kaplıca birikintileri veya sinterler, kimyasal olarak çöktürülmüş, tabakalı, erozyona dayanıklı höyükler olarak gözlenir ve tabakalı veya masif birikintilerin kalınlıkları ise metreden onlarca metreye kadar ulaşabilir. Höyükler genel olarak buldukları coğrafyaya oranla topografik yükseklikler sunarlar ve çevresel faktörlere bağlı olarak birçok farklı litofasiyes sergilerler [7,36]. HKO dahil olmak üzere çevresinde birçok silika höyüğü tespit edilmiştir (Şekil 2). Bu höyükler bölgenin genel topoğrafyasına oranla daha yüksektir ve neredeyse tamamen kuvarstan oluşmaktadır.

Sinterler çoğu zaman aşırı koşullarda yaşamaya uyum sağlamış siyanobakteriler gibi farklı ve kalın termofilik mikroorganizma matlarını içerir [8,9]. Ayrıca ana bileşimi alkali klorür tipte olan çözeltinin bileşimi çıkış bölgelerinden uzaklaştıkça değişir ve bu değişen sıvı bileşimine bağlı olarak da farklı mikroorganizma toplulukları gelişir. Dolayısıyla değişen mikroorganizma birliklerinin oluşturduğu hidrotermal tortuların dokusal özellikleri de farklılaşır [37-39].

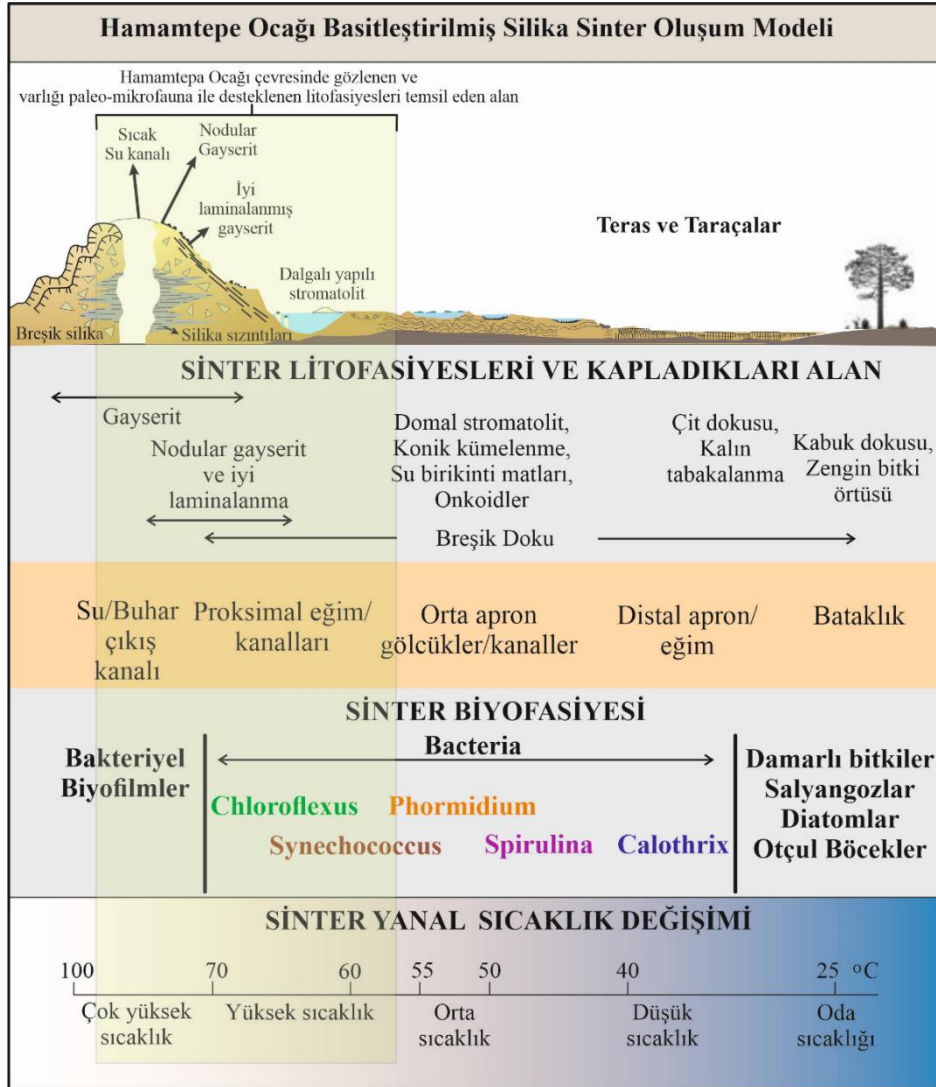
HKO'na ait örneklerden elde edilen FE-SEM görüntülerinde de mikroorganizmalara ait oldukça farklı yapılar tespit edilmiştir. Bunlardan en sık gözlenen ağsal yapıdır. Bazı görüntülerde oldukça net olarak bu ağsal yapıların uç kısımlarının açık olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu yapılarda sıklıkla boğumlanmalar da gözlenmiştir (Şekil 6). [40]'da İzlanda'da güncel sinter çıkışlarında yaptıkları incelemelerde yaklaşık 80 °C sıcaklıkta ağsı termolik mikroorganizmaların varlığını tespit edilmiştir. Bu mikroorganizmaların neden olduğu silisleşme süreci oldukça yavaş olup, tüm mikrobiyal topluluğun silisleşmesi ve ardından kompakt sinterlere dönüşmesi haftalar hatta aylarca sürmektedir [38]. Yeni Zelanda, Waiotapu Jeotermal Alanı'nda tespit edilen ağsal yapılar, silisleşmeye uğrayan filamentli mikroplar olarak tanımlanmış ve muhtemelen septat mantarları olabileceklere belirtilmiştir [41]. Ağsal yapılarla beraber öz şekilli kuvarlar üzerinde mantar hifleri oldukça belirgindir. Çoğu ağsal yapının ve hiflerin içi boştur ve bu yapıların tam olarak doldurulmaması, silisleşmeden önce kurduklarını gösterir. Hifler, ağsal yapılarla genetik olarak ilişkili görünmektedir, çünkü bunlar yalnızca mantar sporlarının kümeleri arasında gözlenir ve çapları yaklaşık olarak çevresinde bulunan ağsal yapılara yakındır.

Yeni Zelanda'nın Taupo Volcanik Bölgesi, kuzeyinde yer alan jeotermal su çıkış kanalının sadece bir buçuk metre ilerisinde belirlenen stromatolitler üzerinde HKO'na benzer morfoloji sergileyen lokal olarak yayılan mantar hifleri belirlenmiştir [41]. [41]'nin yaptığı jenetik tanımlamada stromatolitlerin yüzeyini kaplayan ağsal yapılar *Aspergillus* ve *Penicillium* olarak tanımlanmışken, hiflerin *Aspergillus* sp., olabileceği belirtilmiştir. Tüm bu veriler HKO mikro-faunasına ait ağsal ve hif yapılarının geliştiği alanın silikaca zengin çözeltinin yeryüzüne çıkış kanalına oldukça yakın olan proksimal eğimi temsil ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca [20]'ye göre belirtilen yapısal unsurların sıcaklığın yaklaşık olarak 70-60 °C aralığında olduğu saptanmıştır (Şekil 9).

Hamamtepe örneklerinde tespit edilen bir diğer organik yapı ise silisleşmiş biofilmlerdir (Şekil 7). Bu, biyofilm yapıları mikroorganizmalar tarafından yoğun bir şekilde kolonize edildikten sonra, su-hava ara yüzeyinde

(soğutma ve buharlaşma süreçleri nedeniyle) oluşan silika parçacıklarının hızla biyofilmin yüzeylerine yapışarak tam silisleşmeye yol açması sonucu meydana gelir [42]. İzlanda'da farklı jeotermal alanda yapılan çalışmalar bu biyofilm oluşumlarının yüksek miktarda termofilik mikroorganizma tarafından, su altında 60 ile 96 °C aralığında geliştiğini işaret etmektedir [40]. Biyofilmler etrafında yer alan kırıntılar ise muhtemelen su-hava aralığında biyofilm oluşumu devam ederken çevreden ortama gelen kırıntılı malzemelerdir. Bu gevşek tortu veya biyofilmin, çevreden gelen silisleşmiş bitki artıkları ve organik döküntü içermesi oldukça doğaldır. Ayrıca bunların mat yapıları ile birlikte gözlenmesi oluşum ortamlarının aynı olduğunu gösterir. İnce kesit incelemelerinde sivri uçlu dikensi ve çubuksu yapılar tespit edilmiştir bu yapılar (Şekil 4a-d) Yellowstone Ulusal Parkı'nda ve İzlanda'da kompakt silika tabakaları ve ara sıra mikroorganizmalarla kaplanmış teras benzeri olan yapılarıdır ve $T < 73$ ila > 85 °C aralığında değişen sıcaklıklarda geliştiği belirtilmiştir [40-43].

HKO'na ait FE-SEM görüntülerinde birbirinden bağımsız halde, yüzeyleri oldukça iyi cilalı görümlü silika küreleri tespit edilmiştir. Bunların polen veya diatom olup olmadığı sayılarının çok az olması ve yeterince görüntü olmaması nedeniyle değerlendirilememiştir. Fakat biyofilm oluşumu esnasında ortama gelen birçok malzeme gibi polenlerinde mat yapısına dahil olması ve silisleşmesi oldukça yüksek bir olasılıktır. Bu çalışmada tanımlanan korunmuş morfolojik yapılar, bölgede geçmişte var olan sinterlerin varlığını ortaya koyarken mikrobiyal kalıntılar, biyolojik aktivitenin belirteçleri olarak yorumlanmıştır. Bu yapıların bir kısmı tipik olarak sinterlere ait hidrotermal ortamların doğal şekillenme ürünü olabileceği gibi bir kısmı da mikrobiyal aktivitenin bir sonucu olarak oluşmuştur.



Şekil 9. Silikaca zengin sıcak su kanalından bataklığa kadar, sıcaklık gradyanı boyunca (ortama 100 'den 25°C'ye kadar) nötr karakterli alkali klorür sıvıların biyofasiyesi ve litofasiyesi geçişlerini gösteren silisli sinterlerin şematik kesiti [20]'dan değiştirilmiştir. Hamamtepe ocağı ve çevresine ait örneklerle dayalı fasiyesi, biyofasiyesi ve sıcaklık değişim aralığı açık yeşil alan ile gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Yiğit, Ö. (2012). A prospective sector in the Tethyan Metallogenic Belt: Geology and geochronology of mineral deposits in the Biga Peninsula, NW Turkey. *Ore Geology Reviews*, 46, 118-148.
- [2] Ercan, H.Ü., Ece, O.I., Schroeder, P.A. & Karacik, Z. (2016). Differentiating styles of alteration within kaolin-alunite hydrothermal deposits of Çanakkale, NW Turkey. *Clays and Clay Minerals*, 64(3), 245-274.
- [3] Ağdemir, N., Kirikoğlu, M.S., Lehmann, B. & Tietze, J. (1994). Petrology and alteration geochemistry of the epithermal Balya Pb–Zn–Ag deposit, NW Turkey. *Mineralium Deposita*, 29, 366–371.
- [4] Ercan, H. Ü., Ece, Ö. I., Schroeder, P. A. & Gülmez, F. (2022). Characteristics and evolution of the Etili silica sinter epithermal deposits, Çanakkale–Turkey: Relation to alkali chloride vs acid-sulfate fluids. *Ore Geology Reviews*, 142, 104726.
- [5] Aldanmaz, E., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F. & Mitchell, J. G. (2000). Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of volcanology and geothermal research*, 102(1-2), 67-95.
- [6] Sillitoe, R. H. (1993). Gold-rich porphyry copper deposits: geological model and exploration implication. *Mineral deposit modeling*, 465-478.
- [7] Guido, D.M. & Campbell, K.A. (2011). Jurassic hot spring deposits of the Deseado Massif (Patagonia, Argentina): characteristics and controls on regional distribution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 203(1-2), 35-47.
- [8] Cady, S. L. & Farmer, J. D. (1996). Fossilization processes in siliceous thermal springs: trends in preservation along thermal gradients. In *Ciba Foundation Symposium* (pp. 150-173). John Wiley & Sons Ltd.
- [9] Jones, B. & Renaut, R.W. (2003). Petrography and genesis of spicular and columnar geysirite from the Whakarewarewa and Orakeikorako geothermal areas, North Island, New Zealand. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 40(11), 1585-1610.
- [10] Kyle, J., Schroeder, P.A. & Wiegel, J. (2007). Microbial silicification in sinters from two terrestrial hot springs in the Uzon Caldera, Kamchatka, Russia. *Geomicrobiology Journal*, 24, 627- 641.
- [11] Kyle, J. & Schroeder, P.A. (2007). Role of smectite in siliceous sinter formation and microbial texture preservation: Octopus Spring, Yellowstone National Park, Wyoming, USA. *Clays and Clay Minerals*, 55(2), 189-199.
- [12] Campbell, K.A., Guido, D.M., Gautret, P., Foucher, F., Ramboz, C. & Westall, F. (2015). Geysirite in hot-spring siliceous sinter: Window on Earth's hottest terrestrial paleoenvironment and its extreme life. *Earth Sci. Rev.* 148, 44–64.
- [13] Des Marais, D.J. & Walter, M.R. (2019). Terrestrial hot spring systems: introduction. *Astrobiology*, 19(12), 1419-1432.
- [14] Herdianita, N.R., Browne, P.R.L., Rodgers, K.A. & Campbell, K.A. (2000). Mineralogical and textural changes accompanying ageing of silica sinter. *Mineralium deposita*, 35(1), 48-62.
- [15] Campbell, K.A., Sannazzaro, K., Rodgers, K.A., Herdianita, N.R. & Browne, P.R.L. (2001). Sedimentary facies and mineralogy of the Late Pleistocene Umukuri silica sinter, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Journal of Sedimentary Research*, 71(5), 727-746.
- [16] Drake, B.D., Campbell, K.A., Rowland, J.V., Guido, D.M., Browne, P.R.L. & Rae, A. (2014). Evolution of a dynamic paleo–hydrothermal system at Mangatete, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 282,19–35.
- [17] Lynne, B.Y., Boudreau, A., Smith, I.J. & Smith, G.J. (2019). Silica accumulation rates for siliceous sinter at Orakei Korako geothermal field, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Geothermics*, 78, 50–61.
- [18] Churchill, D. M., Manga, M., Hurwitz, S., Peek, S., Licciardi, J. M. & Paces, J. B. (2020). Dating silica sinter (geysirite): A cautionary tale. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 402, 106991.
- [19] Reysenbach, A. L., Wickham, G. S. & Pace, N. R. (1994). Phylogenetic analysis of the hyperthermophilic pink filament community in Octopus Spring, Yellowstone National Park. *Applied and Environmental Microbiology*, 60(6), 2113-2119.
- [20] Hamilton, A.R., Campbell, K.A. & Guido, D.M. (2019a). Atlas of siliceous hot spring deposits (sinter) and other silicified surface manifestations in epithermal environments. Lower Hutt, N.Z.: GNS Science. *GNS Science report 2019/06*. 56 p.; doi: 10.21420/BQDR-XQ16.
- [21] Beccalotto, L., Bartolini, A. C., Martini, R., Hochuli, P. A. & Kozur, H. (2005). Biostratigraphic data from the Çetmi Melange, northwest Turkey: palaeogeographic and tectonic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 221(3-4), 215-244.
- [22] Elmas, A. (2012). Basement types of the Thrace Basin and a new approach to the pre-Eocene tectonic evolution of the northeastern Aegean and northwestern Anatolia: a review of data and concepts. *International Journal of Earth Sciences*, 101(7), 1895-1911.
- [23] Aygül, M., Topuz, G., Okay, A., Satir, M. & Meyer, H. P. (2012). The kemer metamorphic complex (NW Turkey): a subducted continental margin of the Sakarya zone. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21(1), 19-35.

- [24] Şengün, F. & Koralay, O. E. (2017). Early Variscan magmatism along the southern margin of Laurasia: geochemical and geochronological evidence from the Biga Peninsula, NW Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 106(3), 811-826.
- [25] Licht, A., Métais, G., Coster, P., İbilioğlu, D., Oçakoğlu, F., Westerweel, J. & Beard, K. C. (2022). Balkanatolia: The insular mammalian biogeographic province that partly paved the way to the Grande Coupure. *Earth-Science Reviews*, 103929.
- [26] Dönmez, M., Akçay, A. E., Genç, Ş. & Acar, Ş. (2005). Biga yarımadasında Orta-Üst Eosen volkanizması ve denizel ignimbiritler. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 131, 49-61.
- [27] Ersoy, E. Y., Akal, C., Genç, Ş. C., Candan, O., Palmer, M. R., Prelević, D. & Mertz-Kraus, R. (2017). U-Pb zircon geochronology of the Paleogene–Neogene volcanism in the NW Anatolia: Its implications for the Late Mesozoic–Cenozoic geodynamic evolution of the Aegean. *Tectonophysics*, 717, 284-301.
- [28] Genç, Ş. C. (1998). Evolution of the Bayramiç magmatic complex, northwestern Anatolia. *Journal of volcanology and geothermal research*, 85(1-4), 233-249.
- [29] Karacık, Z. & Yılmaz, Y. (1998). Geology of the ignimbrites and the associated volcano–plutonic complex of the Ezine area, northwestern Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85(1-4), 251-264.
- [30] Aysal, N. (2015). Mineral chemistry, crystallization conditions and geodynamic implications of the Oligo–Miocene granitoids in the Biga Peninsula, Northwest Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 105, 68-84.
- [31] Pe-piper, G. & Piper, D. J. (1989). Spatial and temporal variation in Late Cenozoic back-arc volcanic rocks, Aegean Sea region. *Tectonophysics*, 169(1-3), 113-134.
- [32] Kaymakci, N., Aldanmaz, E., Langereis, C., Spell, T. L., Gurer, O. F. & Zanetti, K. A. (2007). Late Miocene transcurent tectonics in NW Turkey: evidence from palaeomagnetism and 40Ar–39Ar dating of alkaline volcanic rocks. *Geological Magazine*, 144(2), 379-392.
- [33] Türkdönmez, O. & Bozcu, M. (2008). Etili (Çanakkale) güneyindeki plütonik ve volkanik kayaların petrografisi ve jeokimyası. *Geosound*, 53, 189-201.
- [34] Aydın, A. (2014). Çan-Çanakkale Bölgesi Kaolinit Yataklarının ve Çevresinin Petrografik minerolojik ve Jeokimyasal İncelenmesi. MS Thesis. Istanbul Technical University, Fen Bilimleri Enstitüsü, 107 p.
- [35] Lynne, B. Y. (2012). Mapping vent to distal-apron hot spring paleo-flow pathways using siliceous sinter architecture. *Geothermics*, 43, 3-24.
- [36] Giggenbach, W. F., Sheppard, D. S., Robinson, B. W., Stewart, M. K., & Lyon, G. L. (1994). Geochemical structure and position of the Waiotapu geothermal field, New Zealand. *Geothermics*, 23(5-6), 599-644.
- [37] Handley, K. M., Campbell, K. A., Mountain, B. W. & Browne, P. R. L. (2005). Abiotic–biotic controls on the origin and development of spicular sinter: in situ growth experiments, Champagne Pool, Waiotapu, New Zealand. *Geobiology*, 3(2), 93-114.
- [38] Schinteie, R., Campbell, K. A. & Browne, P. R. (2007). Microfacies of stromatolitic sinter from acid-sulphate-chloride springs at Parariki Stream, Rotokawa geothermal field, New Zealand. *Palaeontologia Electronica*, 10(1), 1-33.
- [39] Tobler, D. J., Stefansson, A. & Benning, L. G. (2008). In- situ grown silica sinters in Icelandic geothermal areas. *Geobiology*, 6(5), 481-502.
- [40] Jones, B., Renaut, R. W. & Rosen, M. R., (2000). Stromatolites forming in acidic hot-spring waters, North Island, New Zealand. *Palaios*, 15(5), 450-475.
- [41] Mountain, B. W., Benning, L. G. & Boerema, J. A. (2003). Experimental studies on New Zealand hot spring sinters: rates of growth and textural development. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 40(11), 1643-1667.
- [42] Braunstein, D. & Lowe, D. R. (2001). Relationship between spring and geyser activity and the deposition and morphology of high temperature (> 73 C) siliceous sinter, Yellowstone National Park, Wyoming, USA. *Journal of Sedimentary Research*, 71(5), 747-763.



Araştırma Makalesi - Research Article

Warped f-product Finsler Metrics

Bükülmüş f-Çarpımlı Finsler Metrikleri

Semail Ülgen^{1*}

Geliş / Received: 24/08/2022

Revizé / Revised: 07/05/2023

Kabul / Accepted: 08/05/2023

ABSTRACT

This paper shows the existence of some Ricci-flat warped f-Product Finsler metrics. We investigate the general structure of this newly defined warped f-Product Finsler metrics, indeed we identify the metric form, spray coefficients of geodesics of the metric, and also the Ricci curvature in regards to the α_1 and α_2 Riemannian metrics.

Keywords-Warped f-Product Finsler Metrics, Ricci Curvature, Sprays, Riemannian Curvature

ÖZ

Bu makalede bazı Ricci-Düz bükülmüş f-Çarpımlı Finsler metriklerinin varlıkları gösterilmektedir. Bu yeni tanımlanan bükülmüş f-Çarpımlı Finsler metriklerinin genel yapısını araştırarak, metrik formunu, metriğin geodesiklerinin sprey katsayıları ve α_1 ve α_2 Riemannian metriklerine bağlı Ricci eğriliklerini belirledik.

Anahtar Kelimeler- Bükülmüş f-Çarpımlı Finsler Metrikleri, Ricci Eğrilikleri, Spreyler, Riemann Eğriliği

^{1*}Corresponding Author Contact: sulgen@antalya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-1381-1577>)

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Antalya Bilim University, Çıplaklı, Akdeniz Blv. No:290/A, 07190 Döşemealtı, Antalya, Turkey

I. INTRODUCTION

In geometry examples of semi-Riemannian manifolds with interesting curvature properties could often be obtained by using warped product structures, [1–3]. The warped product of (semi-)Riemannian manifolds is used in constructing new geometric models in theoretical physics in (semi-)Riemannian geometry. While, Robertson-Walker space-time, for example, is the relativistic model of the flow of perfect fluid, Schwarzschild geometry is the simplest relativistic model of universe with a single star. A model for the solar system could be better given by this than any Newtonian model. The simplest model for the black hole could also be given, [3].

In this paper we construct a newly defined warped product, namely the warped f -product of Finsler manifolds by the help of a warping function f and also the warped f -product Finsler metrics. We describe the geometry of the warped product Finsler manifold $(M \times_f N, F)$ by using the geometry on M and N , their Cartan torsion, and the properties of the warping function. We use this construction and we obtain a new warped product Finsler metric space as defined below.

Definition: Let (M_i, α_i) be arbitrary Riemannian manifolds for $i = 1, 2$, and let $M = M_1 \times M_2$ be the product of two manifolds M_1 and M_2 . We assume that f is an arbitrary C^∞ warping function defined below

$$f : [0, \infty) \times [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$$

satisfying the following three conditions:

$$i. f(\lambda s, \lambda t) = \lambda f(s, t), \quad (\lambda > 0), \quad (1)$$

$$ii. f(s, t) \neq 0, \quad \text{if } (s, t) \neq 0, \quad (2)$$

$$iii. f(s, t) = s\phi(\rho), \quad \rho = \frac{t}{s} \text{ for some } \phi. \quad (3)$$

For $x \in M$, and $y \in T_x M$, we define the warped f -product Finsler metric F ,

$$F = \alpha_1(x_1, y_1) \sqrt{\phi \left(\varphi(x_1)^2 \left[\frac{\alpha_2(x_2, y_2)}{\alpha_1(x_1, y_1)} \right]^2 \right)}$$

where $x = (x_1, x_2)$, $y = y_1 \oplus y_2$, and $T_x M = T_{(x_1, x_2)} [M_1 \times M_2] \cong T_{x_1} M_1 \oplus T_{x_2} M_2$.

Clearly, F has the following properties:

$$(a) F(x, y) \geq 0, \quad \text{and } F(x, y) = 0 \text{ iff } y = 0, \quad (4)$$

$$(b) F(x, \lambda y) = \lambda F(x, y), \quad \lambda > 0, \quad (5)$$

$$(c) F(x, y) \text{ is } C^\infty \text{ on } TM \setminus \{0\}. \quad (6)$$

In this paper in Lemma 3.1 we compute the positive definite warped f -product Finsler metric and its inverse and we find additional conditions on $f = f(s, t)$ under which the matrix $g_{ij} = \frac{1}{2} [F^2]_{y^i y^j}$ is positive definite. We take standard local coordinate systems (x^a, y^a) in TM_1 and (x^α, y^α) in TM_2 . We express

$$\alpha_1(x_1, y_1) = \sqrt{\bar{g}_{ab}(x_1) y^a y^b}, \quad \text{and} \quad \alpha_2(x_2, y_2) = \sqrt{\bar{g}_{\alpha\beta}(x_2) y^\alpha y^\beta}, \quad \text{where } y_1 = y^a \frac{\partial}{\partial x^a}, \quad y_2 = y^\alpha \frac{\partial}{\partial x^\alpha}$$

and $\rho = \frac{\varphi^2 \alpha_2^2}{\alpha_1^2}$ for a standard local coordinate system $(x^i, y^i) = (x^a, x^\alpha, y^a, y^\alpha)$ in TM .

Then in Lemma 3.2 we characterize the geodesic coefficients of the spray of warped f -product Finsler metrics and in Theorem 1.1 we compute the Ricci curvature of the warped f -product Finsler metrics.

Riemannian metrics and Finsler metrics differ since Riemannian metrics are quadratic metrics, whereas Finsler metrics have no restriction on the quadratic property. Fortunately, one can naturally extend the Ricci curvature Ric in Riemannian geometry to Finsler geometry and study Finsler metrics $F = F(x, y)$ with isotropic Ricci curvature $Ric = Ric(x, y)$, also called Einstein metrics, i.e., $Ric = (n - 1)\sigma F^2$, where σ is a scalar function in x on an n -dimensional manifold. There are Einstein metrics in a certain form that are Ricci-flat. It is still an open problem how to characterize warped f -product Finsler metrics as Einstein. Next theorem is useful in studying such an open problem. In this paper we first investigate the general structure of this newly defined warped f -product Finsler metrics.

Theorem 1.1 Let (M_i, α_i) be arbitrary Riemannian manifolds for $i = 1, 2$, and $M = M_1 \times M_2$, product of two manifolds M_1 and M_2 . A warped f -product Finsler metric F

$$F = \alpha_1(x_1, y_1) \sqrt{\phi \left(\varphi(x_1)^2 \left[\frac{\alpha_2(x_2, y_2)}{\alpha_1(x_1, y_1)} \right]^2 \right)}$$

is Ricci flat, but not flat, for $x = (x_1, x_2) \in M, y = y_1 \oplus y_2 \in T_x M$, if and only if Ric_1 and Ric_2 satisfy the following equations:

$$\begin{aligned} Ric_1 = & 2(\rho A_\rho - A)[\alpha_1^2]_{x^a} [ln\varphi]_{x^a} \bar{g}^{ad} - 2sA[ln\varphi]_{x^a x^d} \bar{g}^{ad} - 2sA[ln\varphi]_{x^a} [\bar{g}^{ad}]_{x^a} \\ & + [ln\varphi]_{x^a x^a} \bar{g}^{ad} (4\rho B_\rho - 2(\rho A_\rho - A) - 2B(n_1 - 1)) \\ & + 4s[ln\varphi]_{x^a} [ln\varphi]_{x^a} \bar{g}^{ad} \{ \rho A_\rho (C - 1 - A - 2B) + A(A + 2\rho B_\rho) - AB(n_1 - 1) \} \\ & - \rho \Pi (\Pi - s^{-1}M) \{ \rho A_{\rho\rho} - 2\rho B_{\rho\rho} + (n_1 - 3)B_\rho \} - s^{-1}\rho N \Pi (A_{\rho\rho} - 2B_{\rho\rho}) \\ & + 2(A - 2B + 2C)\Pi^2 \{ \rho^2 (A_{\rho\rho} - 2B_{\rho\rho}) + (n_1 - 1)\rho B_\rho \} \\ & + 2B\Pi^2 \{ (\rho A_\rho - A) - 2\rho B_\rho + (n_1 + 1)B \} \\ & - \Pi^2 \{ (\rho A_\rho - A)^2 - 4(\rho B_\rho - B)^2 + 2(\rho A_\rho - A)(2\rho B_\rho - B) - (n_1 - 1)B^2 \} \\ & - 2\rho^2 C_\rho (A_\rho - 2B_\rho) - 2\rho B_\rho C, \end{aligned} \tag{7}$$

where Ric_1 is the Ricci curvature of the Riemannian metric $\alpha_1(x_1, y_1)$, and

$$\begin{aligned} Ric_2 = & [ln\varphi]_{x^a x^d} y^a y^d y^\alpha (2\rho C_\rho + C) \\ & + [ln\varphi]_{x^a} [ln\varphi]_{x^a} \bar{g}^{ad} 4s y^\alpha (\rho A_\rho C - A(C - 2\rho C_\rho)) \\ & + y^\alpha \Pi^2 \left\{ \begin{aligned} & - (3C_\rho + 2\rho C_{\rho\rho})(\rho(1 - (s\Pi)^{-1}M) + (s\Pi)^{-1}N) + 4\rho^2 C_{\rho\rho} (A - 2B + 2C) \\ & - 2\rho^2 C_\rho (A_\rho - 2B_\rho + 2C_\rho) + 2\rho C_\rho (3A - 4B + 4C) - 2\rho B_\rho C + C(2B - C) \end{aligned} \right\} \end{aligned} \tag{8}$$

where Ric_2 is the Ricci curvature of the Riemannian metric $\alpha_2(x_2, y_2)$, and

$$A(\rho) = \frac{\rho\phi_\rho}{2(\phi - \rho\phi_\rho)}, \quad B(\rho) = \frac{\rho^2\phi\phi_\rho\phi_{\rho\rho}}{2\Delta(\phi - \rho\phi_\rho)}, \quad C(\rho) = \frac{\phi\phi_\rho - \rho\phi_\rho^2 + \rho\phi\phi_{\rho\rho}}{2\Delta},$$

$$\Delta(\rho) = \phi\phi_\rho - \rho\phi_\rho^2 + 2\rho\phi\phi_{\rho\rho}, \quad \rho = \frac{\varphi^2\alpha_2^2}{\alpha_1^2}.$$

$$M = [\alpha_1^2]_{x^a} y^a, \quad N = \varphi^2 [\alpha_2^2]_{x^a} y^a, \quad \Pi = 2[ln\varphi]_{x^a} y^a,$$

Example 1.1. [4] When we choose $f(s, t)$ as given below

$$f(s, t) = \frac{1}{1 + \epsilon} \left\{ s + t + \epsilon (s^k + t^k)^{\frac{1}{k}} \right\},$$

where ϵ is a nonnegative number and k is a positive integer, we get an example for the warped f -product Finsler metric.

II. PRELIMINARIES

A nonnegative scalar function $F = F(x, y)$ defined on the tangent bundle TM^n is a Finsler metric on a manifold M^n where x , a point in M^n and y , a point in $T_x M^n$, namely a tangent vector at x . The characterization of geodesics for a Finsler metric $F = F(x, y)$ in local coordinates are given by

$$\frac{d^2 x^i}{dt^2} + 2G^i \left(x, \frac{dx}{dt} \right) = 0,$$

where $g^{il} = g^{il}(x, y)$, $g_{ij} = g_{ij}(x, y)$, $F^2 = F^2(x, y)$, $g_{ij}(x, y) = (\frac{1}{2} F^2)_{y^i y^j}$, and

$$G^i = \frac{1}{4} g^{il} \{ [F^2]_{x^k y^l} y^k - [F^2]_{x^l} \}. \tag{9}$$

The spray G of F is a vector field defined by using local functions G^i on TM^n as follows

$$G = y^i \frac{\partial}{\partial x^i} - 2G^i \frac{\partial}{\partial y^i}.$$

These local functions $G^i = G^i(x, y)$ are called **spray coefficients of F for the spray G** . For any $x \in M^n$ and $y \in T_x M^n \setminus \{0\}$, the Riemann curvature $R_y : T_x M^n \rightarrow T_x M^n$ is defined by $R_y(u) = R^i_k(x, y) u^k \frac{\partial}{\partial x^i} \Big|_x$, where

$$R^i_k = 2 \frac{\partial G^i}{\partial x^k} - y^j \frac{\partial^2 G^i}{\partial x^j \partial y^k} + 2G^j \frac{\partial^2 G^i}{\partial y^j \partial y^k} - \frac{\partial G^i}{\partial y^j} \frac{\partial G^j}{\partial y^k}.$$

The Ricci curvature is given by

$$Ric = 2 \frac{\partial G^m}{\partial x^m} - y^j \frac{\partial^2 G^m}{\partial x^j \partial y^m} + 2G^j \frac{\partial^2 G^m}{\partial y^j \partial y^m} - \frac{\partial G^m}{\partial y^j} \frac{\partial G^j}{\partial y^m}.$$

Definition: Let (M_1, F_1) and (M_2, F_2) be given Finsler manifolds. Then a Finsler metric F on $M = M_1 \times M_2$ is called a **product Finsler metric of F_1 and F_2** if at any point $x = (x_1, x_2) \in M$, we have

$$F(x, y) = \begin{cases} F_1(x_1, y_1), & \text{if } y = y_1 \oplus 0 \in T_x M \\ F_2(x_2, y_2), & \text{if } y = 0 \oplus y_2 \in T_x M' \end{cases}$$

where $T_x M \cong T_{x_1} \oplus T_{x_2}$. In this case, (M, F) is called a **product Finsler manifold** of (M_1, F_1) and (M_2, F_2) .

Unfortunately, there is no canonical way to define product Finsler metrics on the product manifold. In the case that the Finsler metrics are Riemannian, we define the product Finsler metrics in the following way below.

Definition: Let α_1 and α_2 be Euclidean norms on vector spaces V_1 and V_2 , respectively and $V = V_1 \oplus V_2$. Let $f : [0, \infty) \times [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$ be a C^∞ function satisfying

- i. $f(\lambda s, \lambda t) = \lambda f(s, t)$, ($\lambda > 0$)
- ii. $f(s, t) \neq 0$, if $(s, t) \neq 0$.

We define a function $F : V \rightarrow [0, \infty)$ by

$$F(y) = \sqrt{f([\alpha_1(y_1)]^2, [\alpha_2(y_2)]^2)},$$

where $y = y_1 \oplus y_2 \in V_1 \oplus V_2$. $F = F(y)$ has the following properties:

- (a) $F(y) \geq 0$ for any $y \in V$, and $F(y) = 0$ if and only if $y = 0$;
- (b) $F(\lambda y) = \lambda F(y)$, for any $y \in V$ and $\lambda > 0$;
- (c) F is C^∞ on $V \setminus \{0\}$.

Let $n_i = \dim V_i$, for $i = 1, 2$, $\dim V = n$, with $n = n_1 + n_2$, and the ranges of indices are given below,

$$1 \leq a, b, c \leq n_1, \quad n_1 + 1 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq n, \quad 1 \leq i, j, k \leq n.$$

We let $\{b_a\}$, $\{b_\alpha\}$ and $\{b_i\}$ be the bases for V_1, V_2 and V , respectively. We express

$$\alpha_1(y_1) = \sqrt{\bar{g}_{ab} y^a y^b}, \quad \text{and} \quad \alpha_2(y_2) = \sqrt{\bar{g}_{\alpha\beta} y^\alpha y^\beta},$$

where $y_1 = y^a b_a$, and $y_2 = y^\alpha b_\alpha$, then $g_{ij} = \frac{1}{2} [F^2]_{y^i y^j}$ are given by

$$(g_{ij}) = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \tag{10}$$

where

$$\begin{aligned} G_{11} &= 2f_{ss}\bar{y}_a\bar{y}_b + f_s\bar{g}_{ab}, & G_{21} &= 2f_{st}\bar{y}_a\bar{y}_\beta, \\ G_{12} &= 2f_{st}\bar{y}_a\bar{y}_\beta, & G_{22} &= 2f_{tt}\bar{y}_\alpha\bar{y}_\beta + f_t\bar{g}_{\alpha\beta}, \end{aligned}$$

and $\bar{y}_a = \bar{g}_{ab}y^b$, $\bar{y}_\alpha = \bar{g}_{\alpha\beta}y^\beta$. By the elementary argument, one can see that (g_{ij}) is positive definite if and only if $f(s, t)$ satisfies the following conditions i) and ii) given below,

$$\text{i) } f_s, f_t > 0, f_s + 2sf_{ss} > 0, f_t + 2sf_{tt} > 0 \tag{11}$$

$$\text{ii) } f_s f_t - 2f f_{st} > 0. \tag{12}$$

We let $D_{ab} = \det(\bar{g}_{ab}), D_{\alpha\beta} = \det(\bar{g}_{\alpha\beta})$, then

$$\det(g_{ij}) = h([\alpha_1]^2[\alpha_2]^2)D_{ab}D_{\alpha\beta}, \tag{13}$$

where $h = (f_s)^{n_1-1}(f_t)^{n_2-1}\{f_s f_t - 2f f_{st}\}$.

By using the above construction, for any given pair of Riemannian manifolds (M_1, α_1) and (M_2, α_2) one can construct uncountably many product Finsler metrics on $M = M_1 \times M_2$. We just take a function f as in (12) and we define

$$F(x, y) = \sqrt{f([\alpha_1(x_1, y_1)]^2, [\alpha_2(x_2, y_2)]^2)},$$

where $(x_1, x_2) \in M$ and $y_1 \oplus y_2 \in T_x M$. F is called a **reversible warped f - product Finsler metric** on M .

III. PROOF OF THEOREM 1.1

Let F be a given warped f - product Finsler metric on M as given below,

$$F = \alpha_1(x_1, y_1) \sqrt{\phi\left(\varphi(x_1)^2 \left[\frac{\alpha_2(x_2, y_2)}{\alpha_1(x_1, y_1)}\right]^2\right)}$$

where each (M_i, α_i) is an arbitrary Riemannian manifold for $i = 1, 2$, and $M = M_1 \times M_2$, the product manifold, with an arbitrary C^∞ warping function f

$$f : [0, \infty) \times [0, \infty) \rightarrow [0, \infty)$$

satisfying the conditions in (1), (2) and (3). Next, we find additional conditions on $f = f(s, t)$ under which the matrix given below,

$$g_{ij} = \frac{1}{2} [F^2]_{y^i y^j}$$

is positive-definite. We take standard local coordinate systems (x^a, y^a) in TM_1 and (x^α, y^β) in TM_2 . We express

$$\alpha_1(x_1, y_1) = \sqrt{\bar{g}_{ab}(x_1)y^a y^b}, \quad \text{and} \quad \alpha_2(x_2, y_2) = \sqrt{\bar{g}_{\alpha\beta}(x_2)y^\alpha y^\beta},$$

where $y_1 = y^a \frac{\partial}{\partial x^a}$, $y_2 = y^\alpha \frac{\partial}{\partial x^\alpha}$ and $\rho = \frac{\varphi^2 \alpha_2^2}{\alpha_1^2}$ for a standard local coordinate system

$$(x^i, y^i) = (x^a, x^\alpha, y^a, y^\beta) \text{ in } TM.$$

Lemma 3.1. Let (M_i, α_i) be arbitrary Riemannian manifolds for $i = 1, 2$, and $M = M_1 \times M_2$, a product manifold. For a warped f - product Finsler metric F given below

$$F = \alpha_1(x_1, y_1) \sqrt{\phi\left(\varphi(x_1)^2 \left[\frac{\alpha_2(x_2, y_2)}{\alpha_1(x_1, y_1)}\right]^2\right)}$$

where $x \in M, y \in T_x M$, and $x = (x_1, x_2), y = y_1 \oplus y_2$, we have

$$(g_{ij}) = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \tag{13}$$

$$\begin{aligned} G_{11} &= 2s^{-1}\rho^2\phi_{\rho\rho}\bar{y}_a\bar{y}_b + (\phi - \rho\phi_\rho)\bar{g}_{ab}, & G_{21} &= -2s^{-1}\varphi^2\rho\phi_{\rho\rho}\bar{y}_\alpha\bar{y}_\beta, \\ G_{12} &= -2s^{-1}\varphi^2\rho\phi_{\rho\rho}\bar{y}_a\bar{y}_\beta, & G_{22} &= 2s^{-1}\varphi^4\phi_{\rho\rho}\bar{y}_\alpha\bar{y}_\beta + \varphi^2\phi_\rho\bar{g}_{\alpha\beta}, \end{aligned}$$

and

$$(g^{ij}) = \begin{bmatrix} g^{11} & g^{12} \\ g^{21} & g^{22} \end{bmatrix} \tag{14}$$

$G^{11} = \Delta^{-1} (A\bar{g}^{ab} + s^{-1}By^a y^b),$	$G^{21} = \Delta^{-1} (s^{-1}Cy^\alpha y^\beta),$
$G^{12} = \Delta^{-1} (s^{-1}Cy^\alpha y^\beta),$	$G^{22} = \Delta^{-1} (s^{-1}Ey^\alpha y^\beta + \varphi^{-2}D\bar{g}^{\alpha\beta}),$

where

$$A = \frac{\phi\phi_\rho - \rho\phi_\rho^2 + 2\rho\phi\phi_{\rho\rho}}{\phi - \rho\phi_\rho}, \quad B = -\frac{2\rho^2\phi_\rho\phi_{\rho\rho}}{\phi - \rho\phi_\rho},$$

$$C = 2\rho\phi_{\rho\rho}, \quad D = \frac{\phi\phi_\rho - \rho\phi_\rho^2 + 2\rho\phi\phi_{\rho\rho}}{\phi_\rho},$$

$$E = -\frac{2\phi_{\rho\rho}(\phi - \rho\phi_\rho)}{\phi_\rho}, \quad \Delta = \phi\phi_\rho - \rho\phi_\rho^2 + 2\rho\phi\phi_{\rho\rho}.$$

Proof. Using $(g_{ij}) = \left(\frac{1}{2}F^2\right)_{y^i y^j}$ and the conditions in (1), (2) and (3), we easily obtain (13). Moreover, by using basic application of linear algebra and using the following, the inverse matrix form is given by

$$(g_{ij})^{-1} = (g^{ij}) = \begin{bmatrix} G^{11} & G^{12} \\ G^{21} & G^{22} \end{bmatrix}$$

$G^{11} = \Delta^{-1} (A\bar{g}^{ab} + s^{-1}By^a y^b)$	$G^{21} = \Delta^{-1} (s^{-1}Cy^\alpha y^\beta)$
$G^{12} = \Delta^{-1} (s^{-1}Cy^\alpha y^\beta)$	$G^{22} = \Delta^{-1} (s^{-1}Ey^\alpha y^\beta + \varphi^{-2}D\bar{g}^{\alpha\beta})$

and we also have the following equations we got while computing the inverse matrix,

- [a.] $A(\phi - \rho\phi_\rho) = \Delta,$
- [b.] $2A\rho^2\phi_{\rho\rho} + 2B\rho^2\phi_{\rho\rho} + B(\phi - \rho\phi_\rho) - 2C\rho^2\phi_{\rho\rho} = 0,$
- [c.] $-2A\rho\phi_{\rho\rho} - 2B\rho\phi_{\rho\rho} + 2C\rho\phi_{\rho\rho} + C\phi_\rho = 0,$
- [d.] $2C\rho^2\phi_{\rho\rho} + C(\phi - \rho\phi_\rho) - 2D\rho\phi_{\rho\rho} - 2E\rho^2\phi_{\rho\rho} = 0,$
- [e.] $-2C\rho\phi_{\rho\rho} + 2D\phi_{\rho\rho} + 2E\rho\phi_{\rho\rho} + E\phi_\rho = 0,$
- [f.] $D\phi_\rho = \Delta.$

The coefficients A, B, C, D, E and Δ in $(g_{ij})^{-1}$ can be found in terms of ϕ by using the above equations.

Lemma 3.2. Let (M_i, α_i) be arbitrary Riemannian manifolds for $i = 1, 2$, and $M = M_1 \times M_2$, a product manifold. For a warped f – product Finsler metric F given below

$$F = \alpha_1(x_1, y_1) \sqrt{\phi \left(\varphi(x_1)^2 \left[\frac{\alpha_2(x_2, y_2)}{\alpha_1(x_1, y_1)} \right]^2 \right)}$$

where $x \in M, y \in T_x M$, and $x = (x_1, x_2), y = y_1 \oplus y_2$, the spray coefficients of $(M, F_1 \oplus F_2)$ are given as follows,

a) For $(M_1, F_1), 1 \leq a, b \leq n_1, G^a = \bar{G}^a - sA[\ln\varphi]_{x^b} \bar{g}^{ab} + B\Pi y^a$

$$A(\rho) = \frac{\rho\phi_\rho}{2(\phi - \rho\phi_\rho)}, \quad B(\rho) = \frac{\rho^2\phi\phi_\rho\phi_{\rho\rho}}{2\Delta(\phi - \rho\phi_\rho)}, \tag{15}$$

b) For $(M_2, F_2), n_1 + 1 \leq \alpha, \beta \leq n, G^\alpha = \bar{G}^\alpha + C\Pi y^\alpha$

$$C(\rho) = \frac{\phi\phi_\rho - \rho\phi_\rho^2 + \rho\phi\phi_{\rho\rho}}{2\Delta}. \tag{16}$$

Proof. By using (9), we have

a) $G^a = \frac{1}{4}g^{aj}[F^2]_{x^m y^j} y^m - [F^2]_{x^j}, \quad j = b, \beta, \quad 1 \leq a, b \leq n_1, \quad n_1 + 1 \leq \alpha, \beta \leq n$ (17)

$$[F^2]_{x^m y^b} y^m - [F^2]_{x^b} = 2\{s^{-1}\rho^2\phi_{\rho\rho}M - s^{-1}\rho\phi_{\rho\rho}N - \rho^2\phi_{\rho\rho}\Pi\}\bar{y}_b + 4(\phi - \rho\phi_\rho)\bar{G}_b - 2s\rho\phi_\rho [\ln\varphi]_{x^b}$$

where $\bar{y}_b = \bar{g}_{ab}y^a$. By using (17) and Lemma 3.1, we obtain (15). By using (9), we have

$$b) \quad G^\alpha = \frac{1}{4}g^{\alpha j}[F^2]_{x^m y^j} y^m - [F^2]_{x^j}, \quad j = b, \beta, \quad 1 \leq a, b \leq n_1, \\ n_1 + 1 \leq \alpha, \beta \leq n. \quad (18)$$

$$[F^2]_{x^m y^\beta} y^m - [F^2]_{x^\beta} = 2\varphi^2 \left\{ \begin{array}{l} -s^{-1}\rho\phi_{\rho\rho}M - s^{-1}\phi_{\rho\rho}N \\ + (\rho\phi_{\rho\rho} + \phi_\rho)\Pi \end{array} \right\} \bar{y}_\beta + 4\varphi^2\phi_\rho\bar{G}_\beta, \quad \text{where } \bar{y}_\beta = \bar{g}_{\alpha\beta}y^\alpha.$$

By using (18) and Lemma 3.1, we obtain (16) where $M = [\alpha_1^2]_{x^a}y^a$, $N = \varphi^2 [\alpha_2^2]_{x^a}y^a$, and $\Pi = 2[\ln\varphi]_{x^a}y^a$.

For any $x \in M$ and $y \in T_x M \setminus \{0\}$, the Riemannian curvature $R_y : T_x M \rightarrow T_x M$ is defined by

$$R_y(u) = R_k^j(x, y)u^k \frac{\partial}{\partial x^i} \Big|_x, \quad \text{where}$$

$$R_k^i = \bar{R}_k^i + 2 \frac{\partial G^i}{\partial x^k} - \frac{\partial^2 G^i}{\partial x^m \partial y^k} y^m + 2G^m \frac{\partial^2 G^i}{\partial y^m \partial y^k} - \frac{\partial G^i}{\partial y^m} \frac{\partial G^m}{\partial y^k}$$

We construct the warped f-product Finsler space that is Ricci-flat, but not flat:

$$0 = \mathbf{Ric}_1 + 2Q_{;a}^a - Q_{;m.a}^a y^m + 2Q^m Q_{m.a}^a - Q_m^a Q_a^m \quad (19)$$

$$Q_{;a}^a = [\ln\varphi]_{x^a} \bar{g}^{ad} (1 - 2s\rho A_\rho) - sA[\ln\varphi]_{x^a x^d} \bar{g}^{ad} - sA[\ln\varphi]_{x^d} [\bar{g}^{ad}]_{x^a} + \rho B_\rho \Pi (\Pi - s^{-1}M) + 2B[\ln\varphi]_{x^d x^a} y^d y^a, \quad (20)$$

$$Q_{;m.a}^a y^m = 2[\ln\varphi]_{x^c x^d} y^c y^d \{(\rho A_\rho - A) - 2(\rho B_\rho - B) + (n_1 - 1)B\} + \rho \Pi (\Pi - s^{-1}M) \{ \rho(A_{\rho\rho} - 2B_{\rho\rho})(1 + s^{-1}\Pi N) + B_\rho(n_1 - 1) \} + s^{-1}B_\rho \Pi N (n_1 - 1) \quad (21)$$

$$Q^m Q_{m.a}^a = -2sA[\ln\varphi]_{x^a} [\ln\varphi]_{x^d} \bar{g}^{ad} \{(\rho A_\rho - A) - 2(\rho B_\rho - B) + B(n_1 - 1)\} + \Pi^2 (A - 2B + 2C) \{ \rho^2 (A_{\rho\rho} - 2B_{\rho\rho}) + (n_1 - 1)\rho B_\rho \} + B\Pi^2 \{(\rho A_\rho - A) - 2(\rho B_\rho - B) + (n_1 - 1)B\}, \quad (22)$$

$$Q_m^a Q_a^m = 4s[\ln\varphi]_{x^a} [\ln\varphi]_{x^d} \bar{g}^{ad} \{2(\rho A_\rho - A)B - \rho A_\rho C\} + \Pi^2 \{2(\rho A_\rho - A)(B - 2\rho B_\rho) + (\rho A_\rho - A)^2 + (n_1 - 1)B^2\} + 2\rho^2 C_\rho (A_\rho - 2B_\rho) + 2\rho B_\rho C + 4(\rho B_\rho - B)^2 \quad (23)$$

where $m = c, \beta$, $1 \leq a, c, d \leq n_1$, $n_1 + 1 \leq \beta \leq n$.

We plug (20)-(23) into (19), to obtain (7)

$$0 = \mathbf{Ric}_2 + 2Q_{;\alpha}^\alpha - Q_{;m.\alpha}^\alpha y^m + 2Q^m Q_{m.\alpha}^\alpha - Q_m^\alpha Q_\alpha^m, \quad (24)$$

$$Q_{;\alpha}^\alpha = s^{-1}C_\rho N \Pi, \quad (25)$$

$$Q_{;m.\alpha}^\alpha y^m = s^{-1}N \Pi \{ (n_2 + 2)C_\rho + 2\rho C_{\rho\rho} \} + (4\rho C_\rho + 2n_2 C) [\ln\varphi]_{x^d x^a} y^d y^a$$

$$\begin{aligned}
 & + \rho\Pi(\Pi - s^{-1}M)\{(n_2 + 2)C_\rho + 2\rho C_{\rho\rho}\} \\
 & + (n_2 + 2)s^{-1}\rho C_\rho M\Pi
 \end{aligned} \tag{26}$$

$$\begin{aligned}
 Q^m Q_{.m.\alpha}^\alpha & = (n_2 + 2)\rho C_\rho \Pi^2(A + 2C + 2B) + 2\rho^2 C_{\rho\rho} \Pi^2(A + 2C - 2B) \\
 & + B(2\rho C_\rho + n_2 C)\Pi^2 \\
 & - 2sA(2\rho C_\rho + n_2 C)[\ln\varphi]_{x^a}[\ln\varphi]_{x^a}\bar{g}^{ad},
 \end{aligned} \tag{27}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{.m}^\alpha Q_{.m}^\alpha & = 2\rho^2 C_\rho \Pi^2(A_\rho - 2B_\rho) + (2\rho C_\rho + C)^2 \Pi^2 + (n_2 - 1)C^2 \Pi^2 \\
 & - 4s\rho A_\rho C[\ln\varphi]_{x^a}[\ln\varphi]_{x^a}\bar{g}^{ad} + 2\rho B_\rho C \Pi^2,
 \end{aligned} \tag{28}$$

We plug (25)-(28) into (24), and we obtain (8).

REFERENCES

- [1] Beem, J. K., Ehrlich, P. E., & Easley, K. L. (1996). *Global Lorentzian Geometry 2nd ed.* Monographs and Textbooks in Pure and Applied Mathematics, Marcel Dekker, New York, NY, USA, 202.
- [2] Ganchev, G., & Mihova, V. (2000). Riemannian manifolds of quasi-constant sectional curvatures, *Journal für die Reine und Angewandte Mathematik*, 522, 119–141.
- [3] O’Neill, B., (1983). *Semi-Riemannian Geometry: With Applications to Relativity.* Pure and Applied Mathematics, Academic Press, New York, NY, USA, 103.
- [4] Chern, S.S., & Shen, Z. (2005). *Riemann-Finsler Geometry.* World Scientific Publishers, Nankai Tracts in Mathematics, 6.



Araştırma Makalesi - Research Article

Bazı Anyonik Yüzeysel Aktif Maddelerin Şampuanlardaki Viskozite ve Köpürmeye Etkisi

The Effect of Some Anionic Surfactants on Viscosity and Foaming in Shampoos

İbrahim İsmet Öztürk^{1*}, Nur Burçak Gök²

Geliş / Received: 06/10/2022

Revize / Revised: 17/03/2023

Kabul / Accepted: 29/04/2023

ÖZ

Yüzeysel aktif maddelerin en çok kullanıldığı alanlar temizlik ve kozmetik sektörüdür. Yüzeysel aktif maddeler arasında anyonik yüzeysel aktif maddeler en büyük üretim hacmine ve çeşitliliğine sahip ana misel oluşturan yüzeysel aktif maddelerdir. Kozmetik sektöründe kullanılan yüzeysel aktif maddeler doğrudan insan ile temas ettiğinde daha dikkatli ve mümkün olduğunca az miktarlarda kullanılmalıdır. Gerçekleştirilen çalışmada anyonik yüzeysel aktif maddelerin şampuan üzerindeki viskozite ve köpürme etkinliği araştırılmıştır. Sektörde en sık kullanılan 3 farklı anyonik yüzeysel aktif madde (Sodyum Lauril Sülfat, Sodyum Lauret Sülfat ve Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat) seçilmiş, seçilen bu anyonik yüzeysel aktif maddeler hazırlanan şampuan bazına belirli oranlarda ilave edilmiştir. Anyonik yüzeysel aktif madde eklenmiş olan şampuanların üzerine %0,5-2 NaCl eklenerek viskozite değerleri ölçülmüştür. Anyonik yüzeysel aktif madde ilave edilen şampuan bazlarının köpük testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda en az miktarda tuz kullanılarak en ideal viskozite değerine sahip (4160 cP) ve en iyi köpürme özelliği gösteren (46 mL) anyonik yüzeysel aktif maddenin Sodyum Lauril Sülfat olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Şampuan, Anyonik Yüzeysel Aktif Madde, Viskozite, Köpürme

ABSTRACT

The areas where surfactants are used most are the cleaning and cosmetics industry. Among surfactants, anionic surfactants are the main micelle-forming surfactants with the largest production volume and variety. Surfactants used in the cosmetics industry should be used more carefully and in as little amounts as possible when they come into direct contact with humans. In this study, the viscosity and foaming efficiency of anionic surfactants on shampoo were investigated. In this study, the most widely used anionic surfactants in the industry (Sodium Lauryl Sulphate, Sodium Laureth Sulphate and Sodium C14-16 Olefin Sulfonate) were used. These anionic surfactants were added to the prepared shampoo base at certain ratios. The viscosity values were measured by adding 0.5-2% NaCl to the shampoos with anionic surfactant added. Foam tests of shampoo bases with anionic surfactant added were carried out. According to the results obtained, it has been determined that the anionic surfactant, which has the ideal viscosity value and the best foaming property by using the least amount, is Sodium Lauryl Sulphate.

Keywords- Shampoo, Anionic Surfactant, Viscosity, Foaming

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ijozturk@nku.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3164-0038>)

Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Süleymanpaşa, Tekirdağ, Türkiye

²İletişim: nburcak.gok@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-7089-5514>)

Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Süleymanpaşa, Tekirdağ, Türkiye

I. GİRİŞ

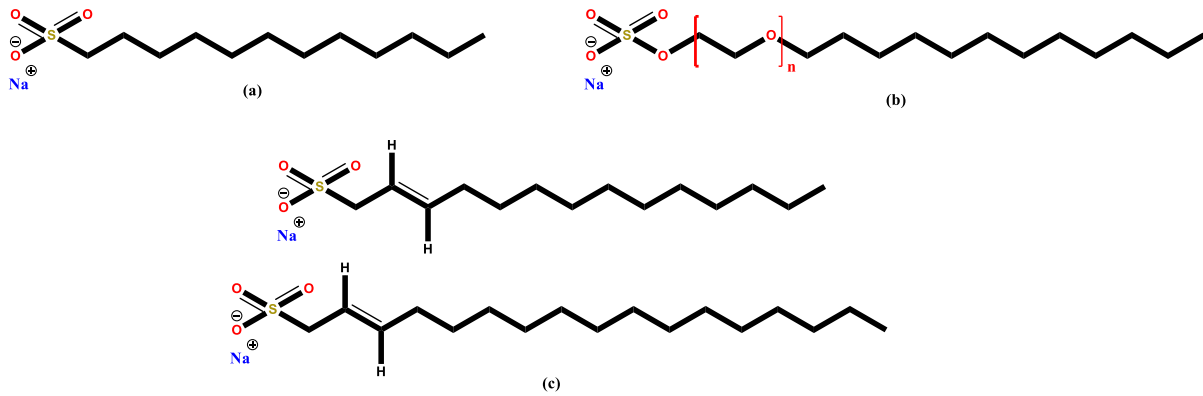
Yüzey aktif maddeler (YAM) su içerisinde veya sulu bir çözeltide çözündüğü zaman çoğunlukla yüzey gerilimini azaltan kimyasal bileşenlerdir [1,2]. Su içerisinde kendiliğinden organize olabilen yüzey aktif maddelerin en önemli karakteristik özelliği uzun hidrokarbon zincirlerine ve polar gruplara sahip olmalarıdır [3]. Uzun hidrokarbon zinciri yüzey aktif maddenin hidrofobik kısmını, polar grup ise hidrofilik kısmını oluşturur. Yüzey aktif maddelerde hidrofobik kısım yüzey aktif özelliği sağlarken, hidrofilik kısım suda çözünmeyi sağlar [4]. Yüzey aktif maddeler genellikle hidrofilik grubun özelliğine göre anyonik, katyonik, nanyonik ve amfoterik yüzey aktif maddeler olarak sınıflandırılırlar [5]. Anyonik yüzey aktif maddeler suda çözündüklerinde hidrofilik grup negatif yük taşır. Başlıca anyonik yüzey aktif maddelere karboksilatlar, sülfonatlar, sülfatlar ve fosfatlar örnek olarak verilebilir [6]. Anyonik yüzey aktif maddelerin temizleme ve köpürme yetenekleri yüksek olduğu için çoğunlukla deterjan ve şampuanlarda kullanılırlar [7].

Yaygın olarak kullanılan anyonik yüzey aktif maddelerden biri olan *Sodyum Lauril Sülfat* (halk arasında SLS olarak bilirdir) orta derecede tahriş edici özelliğe sahip bir maddedir. Cilt tarafından kolayca emilebilen bu kimyasal birkaç gün boyunca ciltte yer edinmektedir. *Sodyum Lauril Sülfat* aynı zamanda çeşitli kimyasallarla tepkimeye girerek kanserojen olduğu bilinen nitrozaminlere dönüşebilmektedir [8]. Bir diğerd anyonik yüzey aktif madde olan *Sodyum Lauret Sülfat* veya kısaca SLES birçok kişisel bakım ürününde bulunan anyonik deterjan ve yüzey aktif bir maddedir. SLES ucuz ve çok etkili bir köpük oluşturucusudur. *Sodyum Lauret Sülfat* birçok kozmetik üründe temizleme ve emülsiyonlaştırma özellikleri için kullanılan yüzey aktif maddelerdir. Sabuna benzer şekilde davranırlar. Hurma çekirdeği yağı veya hindistan cevizi yağından elde edilir [9]. *Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat*, hindistancevizi yağından elde edilen anyonik bir yüzey aktif maddedir. C14-16 olefinlerin yan sülfonasyonu ile hazırlanan uzun bir sülfonat tuzları zincirinden oluşur. *Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat*, iyi köpürme özelliklerine sahip oldukça etkili bir temizleme maddesidir. Ham haliyle, Olefin Sülfonat ince beyaz bir toz görünümündedir. *Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat* durulama ürünlerinde güvenle kullanılabilir. Ancak izin verilen formülasyonlarda konsantrasyonu %2'yi geçmemelidir. *Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat* cildi ve saç kurutabilir, bu nedenle kuru cilt tipleri için önerilmez [10].

1890'larda üretilmeye başlanan saç şampuanı saçların sağlıklı ve parlak bir görünüme sahip olmasını sağlayan, kirli saçları temizleme özelliği olan bir sıvıdır [11]. Şampuanların en önemli bileşenlerinden biri yüzey aktif maddelerdir [12]. Şampuanlarda bulunan yüzey aktif maddeler su ve kir arasındaki yüzey gerilimini azaltarak kirin saç ve deriden kolayca uzaklaştırılmasını sağlar [13]. Şampuanlarda sıklıkla kullanılan anyonik yüzey aktif maddeler sıcaklığın artmasıyla daha iyi bir etki ve çözünürlük göstermektedir [14].

Saç bakım ürünlerinde kullanılan birçok kimyasal başlangıçta saçları temiz, parlak, dolgun ve pürüzsüz hale getirir de ardından başta saç dökülmesi olmak üzere birçok yan etkiyi peşinden getirebilir [15]. Yüzey aktif maddelerde bu tür kimyasallardan olup bunların şampuanlarda fazla miktarda kullanılmaları ilerleyen zamanlarda yan etkilere sebep olabilir [16]. Dolayısıyla şampuanlarda yüzey aktif madde kullanımındaki hedef en az miktarda yüzey aktif madde kullanarak saçlardaki istenen temizlik ve köpürme miktarına ulaşabilmektir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada *Sodyum Lauril Sülfat*, *Sodyum Lauret Sülfat* ve *Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat* (Şekil 1) anyonik yüzey aktif maddelerinin hazırlanan şampuan bazına belirli oranlarda ilave edilmesiyle şampuan bazındaki viskozite ve köpürmenin etkisi incelenmiştir.



Şekil 1. (a) *Sodyum Lauril Sülfat*, (b) *Sodyum Lauret Sülfat*, (c) *Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat* Anyonik Yüzey Aktif Maddelerinin molekül yapıları.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Kullanılan Kimyasallar

Bu çalışmada kullanılan kimyasallar için herhangi bir saflaştırma işlemi yapılmamıştır. Şampuan numunelerini hazırlarken kullanılan anyonik yüzey aktif maddelerinden Sodyum Lauret Sülfat (Teksapon N-70) BASF Türk Kimya Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.'den satın alınmıştır. Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat (Exosel OS Liquid) hammaddesi Ataman Kimya A.Ş. ve Sodyum Lauril Sülfat ise İlmor Kimya ve Tekstil Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.'den satın alınmıştır. Köpürme özelliğinden dolayı kullanılan amfoterik yüzey aktif madde olan Kokamidopropil Betain %45 (Lirobet 45) ve kıvamlaştırıcı olarak Kokamid Dietanolamin (Comperlan KD) hammaddeleri İlmor Kimya ve Tekstil Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.'den alınmıştır. Koruyucu olarak Microcare IT hammaddesini Thor Specialties SRL'den satın alınmıştır. Kıvam vermek amaçlı kullanılan NaCl (tuz) Ataman Kimya A.Ş. ve pH ayarlamak amaçlı sitrik asit İlmor Kimya ve Tekstil Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.'den temin edilmiştir.

B. Kullanılan Cihazlar

Bu çalışmada kullanılan cihazlar Precisa marka XB 3200 C SCS model hassas terazi, CAT marka R 50 D model mekanik karıştırıcı, Mettler Toledo marka S220-K Seven Compact model pH metre ve BROOKFIELD marka DV2T model viskozimetre cihazı'dır.

C. Şampuan Bazının Hazırlanması

Farklı oranlarda anyonik yüzey aktif madde eklenerek hazırlanan şampuan bazlarının yüzdelik oranları Tablo 1.'de verilmiştir. Her şampuan numunesi 200 gr üzerinden çalışılmıştır. İlk olarak 250 ml beherin içerisine belirtilen miktarda deiyonize su eklenip mekanik karıştırıcıya alınmıştır. Karıştırıcı 250 rpm hıza ayarlanmış ve içerisine köpürme özelliğine sahip amfoterik yüzey aktif madde olan Kokoamidopropil Betain'den Tablo 1.'de belirtilen miktarda eklenmiştir. Eklenen hammadde tamamen çözüldükten sonra kıvamlaştırıcı olarak Kokoamid Dietanolamin, koruyucu olarak Microcare IT Tablo 1'de belirtilen miktarda ilave edilmiştir. Daha sonra 3 farklı anyonik yüzey aktif maddeden her biri tanesi Tablo 1'de belirtilen oranda eklenmiştir. Her bir anyonik yüzey aktif madde için yapılan işlemler tekrar edilmiştir. Sonuç olarak 30 farklı şampuan numunesi elde edilmiştir. Hazırlanmış olan şampuan numunelerinin pH değeri sitrik asit kullanılarak 5,5 veya 5,5'e yakın değerlere gelmesi sağlanmıştır. Şampuan bazının hazırlanması 24-26°C aralığında gerçekleştirilmiş olup elde edilen şampuan bazının pH değeri 24.8-25.2°C aralığında ölçülmüştür.

Tablo 1. Hazırlanan şampuan bazı formülasyonları

	Deiyonize Su miktarı (%)	Kokoamidopropil Betain miktarı (%)	Kokoamid Dietanolamin miktarı (%)	Microcare IT miktarı (%)	Anyonik Yüzey Aktif Madde (%)
1.	93,9	3	2	0,1	1
2.	92,9	3	2	0,1	2
3.	91,9	3	2	0,1	3
4.	90,9	3	2	0,1	4
5.	89,9	3	2	0,1	5
6.	88,9	3	2	0,1	6
7.	87,9	3	2	0,1	7
8.	86,9	3	2	0,1	8
9.	85,9	3	2	0,1	9
10.	84,9	3	2	0,1	10

D. Viskozitesi Ölçülecek Şampuan Numunelerinin Hazırlanması

Farklı miktarlarda eklenmiş anyonik yüzey aktif maddeler kullanılarak hazırlanan şampuan numunelerinden 100 gr alınmış ve viskozite değerleri ölçülmüştür [17]. Viskozite değerleri ölçülen bu numunelerin üzerine kademeli olarak sırasıyla 0,5; 1,0; 1,5 ve 2 gram olacak şekilde NaCl eklenmiştir. Eklenen her NaCl miktarından sonra hazırlanan şampuan numunelerinin viskozite ölçümleri tekrarlanmıştır. Hazırlanan şampuan numunelerinin viskozite ölçümleri 24.8-25.2°C aralığında gerçekleştirilmiştir.

E. Köpük Testi

Anyonik yüzey aktif maddelerin farklı miktarlarda eklenmesi ile hazırlanmış olan şampuan numunelerinden geriye kalan 100 gramının üzerinden köpük testleri gerçekleştirilmiştir [18]. Köpük testi için hazırlanmış olan şampuan numunesinden 1gr beher içerisine alınıp 99 mL deiyonize su eklenerek %1 lik çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan bu %1 lik çözeltiden 50 mL mezür içerisine aktarılıp ağzı kapatılarak 5 kez aynı şekilde çalkalanmıştır. İlk oluşan köpük miktarı not edildikten sonra 3.dakika, 5.dakika, 7.dakika ve 10. dakikadaki köpük miktarları da gözlemlenip not edilmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. Anyonik Yüzey Aktif Maddelerin Viskoziteye Etkisi

Piyasada bulunan 5 farklı şampuanın viskozite değerleri ölçüldüğünde 25°C de 5 mil numarası 50 mil dönüş hızında 2400-4500cP aralıklarında belirlenmiştir. Dört farklı anyonik yüzey aktif madde ile denemiş şampuan numunelerinin 25°C de 5 mil numarası 50 mil dönüş hızında viskozite değerleri ölçülmüştür. Seçilen anyonik yüzey aktif maddelerin literatürde %4-8 aralığında kullanıldığı gözlenmiştir [17,18]. Bu aralıklar dikkate alınarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda yüzey aktif madde oranının %1-10 aralığında kullanılmasına karar verilmiştir. Şampuan numunelerinin NaCl eklenmeden önce kıvamlarının çok düşük olmasından dolayı viskozite değerleri ölçülemedi. %0,5 NaCl eklendiğinde şampuan numunesinin elektrolit dengesi bozulduğundan şampuanların kıvamları düştüğünden dolayı ölçüm alınamamıştır. Şampuan bazına %1, 2, 3 ve 4 anyonik yüzey aktif madde eklenmiş olan şampuan numunelerinde NaCl eklenmemiş, %0,5 ve %1 NaCl eklendiğinde 5 mil numarası 50 mil dönüş hızında kıvamları düşük olduğundan dolayı ölçüm alınamamıştır.

Şampuan numunelerine %1 NaCl eklendiğinde viskozite ölçüm değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Sodyum Lauret Sülfat yüzey aktif maddesinde viskozite değerleri istenilen aralıkta değer vermemiştir. NaCl oranı ve anyonik yüzey aktif madde oranı arttıkça viskozitesinde düşme meydana gelmiştir. Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat yüzey aktif maddesi şampuan numunelerinin üzerine %5 ve %6 oranında eklendiğinde kıvamı oldukça düşük olduğu için viskozite değerlerinde ölçüm alınamamıştır. Diğer Sodyum C14-16 Olefin Sülfonatlı şampuan numunelerinde ise Sodyum Lauret Sülfatta olduğu gibi NaCl oranı ve anyonik yüzey aktif madde oranı arttıkça viskozitesinde düşme meydana gelmiştir. Sodyum Lauril Sülfat yüzey aktif maddesinde ise %1 NaCl eklendiğinde viskozite değerleri istenilen aralıkta gelmektedir. En az NaCl eklenerek en iyi viskozite değerine sahip olan şampuan %5 Sodyum Lauril Sülfat içeren şampuan olduğu gözlenmiştir.

Tablo 2. %1 NaCl eklenmiş olan şampuan numunelerini viskozite değerleri

Eklenen anyonik yüzey aktif madde miktarı (%)	Sodyum Lauret Sülfat	Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat	Sodyum Lauril Sülfat
5	2152 cP	-	4160 cP
6	1720 cP	-	3912 cP
7	1685 cP	1800 cP	3424 cP
8	986 cP	1658 cP	2440 cP
9	521 cP	1327 cP	2128 cP
10	-	742 cP	3400 cP

Şampuan numunelerine %1,5 NaCl eklendiğinde ölçülen viskozite değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Sodyum Lauret sülfatlı şampuan numunelerinin tüm viskozite değerleri istenilen aralıkta gelmiştir. Sodyum C14-16 Olefin Sülfonatlı şampuan numunelerinin viskozite değerleri düşük olduğundan dolayı istenilen aralıkta değer vermemiştir. Sodyum Lauril Sülfatlı şampuan numunelerinde ise istenilen değerlerin üstünde viskozite değerlerine ulaşılmıştır. Şampuan numunesinin viskozite değerinin belirlenen aralıktan fazla olması numunenin çok kıvamlı olmasına ve saçtan akıp gitmesini zorlaştıran bir etkidir. Bu yüzden şampuan numunelerinin aşırı kıvamlı olması istenen bir özellik değildir. En ideal viskozite değerinde en az anyonik yüzey aktif madde kullanılacak şekilde %1,5 NaCl içeren şampuan formülasyonunda optimum koşullar %5 Sodyum Lauret Sülfat ile sağlanmıştır.

Tablo 3. %1,5 NaCl eklenmiş olan şampuan numunelerinin viskozite değerleri

Eklenen anyonik yüzey aktif madde miktarı (%)	Sodyum Lauret Sülfat	Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat	Sodyum Lauril Sülfat
5	2536 cP	-	3120 cP
6	3144 cP	-	5160 cP
7	3176 cP	2064 cP	6576 cP
8	3232 cP	1965 cP	6825 cP
9	3200 cP	1880 cP	7288 cP
10	3348 cP	920 cP	-

%2 NaCl eklenerek hazırlanmış olan şampuan numunelerinin viskozite değerleri Tablo 4’de verilmiştir. Sodyum Lauret Sülfat yüzey aktif maddesi eklenerek hazırlanan şampuan numuneleri kendi arasında değerlendirildiğinde en iyi değer %6 Sodyum Lauret Sülfat yüzey aktif maddesi eklendiğinde elde edildiği gözlenmiştir. Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat eklenerek hazırlanan şampuan numunelerinde ise NaCl oranı ve anyonik yüzey aktif madde oranı arttıkça viskozitesinde artış gözlenmiştir. Kendi arasında kıyasladığımızda istenilen viskozite aralığına ilk gelen şampuan numunesi %8 Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat eklenerek hazırlanan numune olduğu belirlenmiştir. Sodyum Lauril Sülfat eklenerek hazırlanan şampuan numunelerinde ise viskozite değerleri istenen aralığın üstünde ya da altında kaldığı gözlenmiştir. %2 NaCl eklenerek hazırlanan şampuan numunelerinde en ideal viskozite değerine %6 Sodyum Lauret Sülfat yüzey aktif maddesi eklenmiş olan şampuan numunesi olduğu gözlenmiştir.

Tablo 4. %2 NaCl eklenmiş olan şampuan numunelerinin viskozite değerleri

Eklenen anyonik yüzey aktif madde miktarı (%)	Sodyum Lauret Sülfat	Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat	Sodyum Lauril Sülfat
5	848	-	608
6	3016	1003	2000
7	4056	1208	5736
8	4576	2548	7208
9	4936	2960	7806
10	5012	3245	-

Gerçekleştirilen deneyse çalışmalar kapsamında elde edilen sonuçlar literatür [2] ile karşılaştırıldığında çalışmada kullanılan anyonik YAM (Sodyum Lauret Sülfat, Sodyum Lauret Sülfat, Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat) içeren şampuan bazlarının tuz ilavesi gerçekleştirilmeden uygun viskoziteye ulaşamadığı fakat bazı amfoterik YAM kullanımında şampuan bazının tuz ilavesi olmadan da yüksek amfoterik YAM oranıyla (%7-10) istenen vizkoziteye ulaşabildiği görülmektedir. Ayrıca amfoterik YAM kullanılarak hazırlanan şampuan bazının az oranda tuz (%0,25-1,00) ve amfoterik YAM (%1,0-4,0) ilavesiyle uygun viskozite değerlerine ulaşabildiği, anyonik YAM kullanılarak hazırlanan şampuan bazının uygun vizkoziteye ulaşabilmesi için daha fazla tuz (%1,00-2,00) ve anyonik YAM oranına (%5,0-8,0) ihtiyaç olduğu görülmektedir.

B. Anyonik Yüzey Aktif Maddelerin Köpürmeye Etkisi

Şampuan numunelerine köpük testi yapılmıştır ve anyonik yüzey aktif madde miktarı arttıkça köpürme miktarının arttığı gözlenmiştir. %10 Anyonik yüzey aktif madde eklenince en yüksek köpürme oranları elde edilmiştir. Tablo 5.'de %10 anyonik yüzey aktif madde eklendiğindeki şampuan numunelerinin köpük testinin sonuçları yer almaktadır. Anyonik yüzey aktif maddeler kendi aralarında kıyaslandığında en iyi köpürmeye sahip olan anyonik yüzey aktif maddenin Sodyum Lauril Sülfat olduğu gözlenmiştir.

Tablo 5. Anyonik yüzey aktif maddelerin köpük testi sonuçları

Anyonik Yüzey Aktif Madde	İlk Köpük Seviyesi	3.Dakika Sonra	5.Dakika Sonra	7.Dakika Sonra	10.Dakika Sonra
Sodyum Lauret Sülfat	45 mL	39 mL	37 mL	34 mL	32 mL
Sodyum C14-16 Olefin Sülfonat	35 mL	32 mL	32 mL	30 mL	29 mL
Sodyum Lauril Sülfat	46 mL	44 mL	42 mL	39 mL	38 mL

Deneyse çalışmada hazırlanan şampuan bazına ilave edilen anyonik YAM'ın köpük testi sonuçları literatürde [2] yer alan amfoterik YAM'in köpük testi sonuçlarıyla karşılaştırıldığında anyonik YAM ilavesiyle elde edilen köpük seviyesinin (35-46 mL) amfoterik YAM ilavesiyle elde edilen köpük seviyesine (25-42 mL) oranla daha iyi bir sonuç verdiği görülmekte olup Köpürme seviyesinin daha fazla olması istenen şampuan bazlarında anyonik YAM'in tercih edilebileceği ortaya çıkmaktadır.

IV. SONUÇLAR

YAM günlük yaşantımızda sıklıkla karşılaştığımız kimyasalların başında gelmektedir. Bu kimyasalların aşırı kullanımının deride kuruluğa, kızarıklığa ve kaşıntıya neden olduğu ve biyolojik olarak parçalanana dek sualtı yaşamı içinde tehlike oluşturduğu bilinmektedir. Bu nedenle farklı sektörlerde kullanılan YAM'in en düşük miktarlarda kullanılarak istenen hedefe ulaşılması beklenmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada özellikle kozmetik sektöründe en büyük paya sahip olan ürünlerden biri olan şampuanlarda kullanılan üç farklı anyonik YAM'in vizkozite ve köpürme üzerine olan etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda en az miktarda YAM kullanılarak istenilen akışkanlık aralığına *Sodyum Lauret Sülfat* kullanılarak ulaşılmıştır. Aynı zamanda *Sodyum Lauret Sülfat*'ın diğer anyonik YAM'e göre de hem daha çok köpürme sağladığı hem de köpüğün diğer anyonik YAM'e göre daha uzun süre kalıcı olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Landeck, L., Baden, L.A. & John, SM. (2012). Detergents. In: Rustemeyer, T., Elsner, P., John, SM., & Maibach, H.I. (eds) *Kanerva's Occupational Dermatology*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [2] Döner, P. & Öztürk, İ. İ. (2022). Amfoterik Yüzey Aktif Maddelerin Şampuan Üzerinde Etkinliği. *Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1) , 574-582 .
- [3] Cornwell, P. A. (2018). A review of shampoo surfactant technology: consumer benefits, raw materials and recent developments. *International journal of cosmetic science*, 40(1), 16-30.
- [4] Cho, J. E., Sim, D. S., Kim, Y. W., Lim, J., Jeong, N. H., & Kang, H. C. (2018). Selective syntheses and properties of anionic surfactants derived from isosorbide. *Journal of Surfactants and Detergents*, 21(6), 817-826.
- [5] Leidreiter, H. I., Gruning, B., & Kaseborn, D. (1997). Amphoteric surfactants: processing, product composition and properties. *International journal of cosmetic science*, 19(5), 239-253.

- [6] Painter, H.A. (1992). Anionic surfactants, Handb. Environ. Chem. 3, 1–88.
- [7] El-Shahawi, M. M., Shalaby, A. A. S., Gabre, A. M. E. D., & Ghonim, A. E. H. M. (2016) Surface active properties and biological activities of novel anionic surfactant based on oxapyridazinone derivatives. *Journal of Surfactants and Detergents*, 19(1), 137–144.
- [8] Van Haute, N., & Goossens, A. (1983). Shampoo dermatitis due to cocobetaine and sodium lauryl ether sulphate. *Contact Dermatitis*, 9(2), 169-169.
- [9] Kosswig, K. (2005). Surfactants in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. *Wiley-VCH*, 35, 431-505.
- [10] Nair, B. (1998). Final Report On the Safety Assessment of Sodium Alpha-Olefin Sulfonates. *International Journal of Toxicology*, 17(5), 39-65.
- [11] Robinson, M. P. (1996). Shampoo archaeology: Towards a participatory action research approach in civil society. *The Canadian Journal of Native Studies*, 16(1), 125-138.
- [12] Kumar, A. & Mali, R.R. (2010). Evaluation of prepared shampoo formulations and to compare formulated shampoo with marketed shampoos. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 3(1), 120-126.
- [13] Vijayalakshmi, A., Sangeetha, S., & Ranjith, N. (1979). Formulation and evaluation of herbal shampoo, *Asian J. Pharm. Clin. Res.* 1(4), 121–124.
- [14] Donaldson, B.R. & Messenger, E.T. (1979). Performance characteristics and solution properties of surfactants in shampoos. *International Journal of Cosmetic Science*, 1(2), 71–90.
- [15] Martins, M.S., Ferreira, M.S., Almeida, I.F., & Sousa, E. (2022). Occurrence of Allergens in Cosmetics for Sensitive Skin. *Cosmetics*. 9(2), 1–13.
- [16] Lu, G., & Moore, D.J. (2012). Study of surfactant-skin interactions by skin impedance measurements. *International journal of cosmetic science*. 34(1), 74–80.
- [17] Çiftçi, E. (2018). *Kozmetik ürünlerde kullanılabilen bazı kıvamlaştırıcı maddelerin temel bir bebek şampuanı formülasyonu üzerinde viskoziteye etkilerinin incelenmesi*. (Yüksek lisans Tezi), Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Gaziantep.
- [18] Gökçay, E. (2007). *Kepeğe karşı etkili şampuan formüllerinin hazırlanması ve etkilerinin değerlendirilmesi*. (Yüksek lisans Tezi), Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Farmasötik Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul.



Araştırma Makalesi - Research Article

Kıvrımlı Şerit Elemanlarını Temel Alan Frekansı Ayarlanabilir Düzlemsel Evrilmiş-F Anten Tasarımı

Frequency Tunable PIFA Design Based on Meander Line Elements

Burçin Ramazan¹, Ahmet Rıfat Görgün², Sıddık Cumhuri Başaran^{3*}

Geliş / Received: 31/10/2022

Revize / Revised: 13/03/2023

Kabul / Accepted: 26/04/2023

ÖZ

Bu çalışmada, WLAN ve WiMAX uygulamaları için elektriksel olarak frekansı ayarlanabilir yeni bir düzlemsel evrilmiş-F anten (DEFA) tasarımı önerilmektedir. $30 \times 25 \times 10 \text{ mm}^3$ boyutlarındaki antenin ana radyatörü simetrik olmayan kıvrımlı şerit elemanlarından oluşmakta ve frekans cevabı bu elemanlar arasında optimum konumda kullanılan bir PIN diyotu aracılığıyla dinamik olarak ayarlanabilmektedir. Sayısal tasarımı Ansoft-HFSS ve CST Microwave Studio benzetim yazılımları aracılığıyla gerçekleştirilen antenin prototip üretimi de gerçekleştirilerek, diyotun açık/kapalı durumları için geri dönüş kaybı ölçümleri alınmıştır. Önerilen anten diyotun kesim durumunda WiMAX bandında tek bent rezonans gösterirken, iletim durumunda 2.4 ve 5.2 GHz WLAN bantlarında rezonansa gelmektedir. Ayrıca *E* ve *H*-düzlemleri için ilgili frekans bantlarında oldukça düzgün ışıma karakteristikleri sergileyen antenin mutlak kazanç değerleri 2-4 dBi arasındadır.

Anahtar Kelimeler- Düzlemsel Evrilmiş-F Anten, Frekansı Ayarlanabilir Anten, Kıvrımlı Şerit Rezonatör

ABSTRACT

In this study, a new electrically frequency tunable planar inverted-F antenna (PIFA) design is proposed for WLAN and WiMAX applications. The main radiator of the antenna with dimensions of $30 \times 25 \times 10 \text{ mm}^3$ consists of unsymmetrical meander line elements and the frequency response can be adjusted dynamically by means of a PIN diode used in the optimum position between these elements. The prototype fabrication of the antenna, whose numerical design was carried out using Ansoft-HFSS and Microwave CST studio simulation software, was also realized, and return loss measurements were taken for the on/off states of the diode. While the proposed antenna shows a single bent resonance in the WiMAX band in the off state of the diode, it resonates in the 2.4 and 5.2 GHz WLAN bands in the on state. In addition, the realized gain values of the antenna, which exhibits very uniform radiation characteristics in the relevant frequency bands for the *E* and *H*-planes, are between 2-4 dBi.

Keywords- Planar Inverted-F Antenna, Frequency Reconfigurable Antenna, Meander Line Resonator

¹İletişim: burcinrmzn@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-2008-876X>)

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Akdeniz Üniversitesi, Konyaaltı, Antalya, Türkiye

²İletişim: agahmetgorgun@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-1416-5570>)

Elektronik Teknolojisi Bölümü, Teknik Bilimler MYO, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Çünür, Isparta, Türkiye

^{3*}Sorumlu yazar iletişimi: cbasaran@akdeniz.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-6432-4512>)

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Akdeniz Üniversitesi, Konyaaltı, Antalya, Türkiye

I. GİRİŞ

Son zamanlarda, düşük profilli, verimli, kompakt, yüksek hızlı, düzlemsel, ucuz ve kolayca entegre edilebilen cihazlara talep oldukça yüksektir. Bu cihazlar, modern telekomünikasyon endüstrisinde farklı rollerde çeşitli uygulamalara sahiptir. Anten, gelişen iletişim sistemlerinin en önemli parçalarından biridir ve modern elektronik cihazlarda giderek daha önemli bir rol oynamaktadır. Çoğunlukla sabit polarizasyon, ışın genişliği, uzak alan özellikleri gibi sabit fonksiyonel özellikler gerektiren uygulamalar için kullanılırlar. Ancak, bu tür sabit işlevsel özelliklere sahip anten sistemleri, devrenin karmaşıklığını artırabilir ve verimliliği azaltabilir. Ayrıca, birden fazla radyo haberleşmesinin ve anten sistemlerinin tek bir cihaz içinde entegrasyonu, sistemin performansını da düşürebilir [1,2].

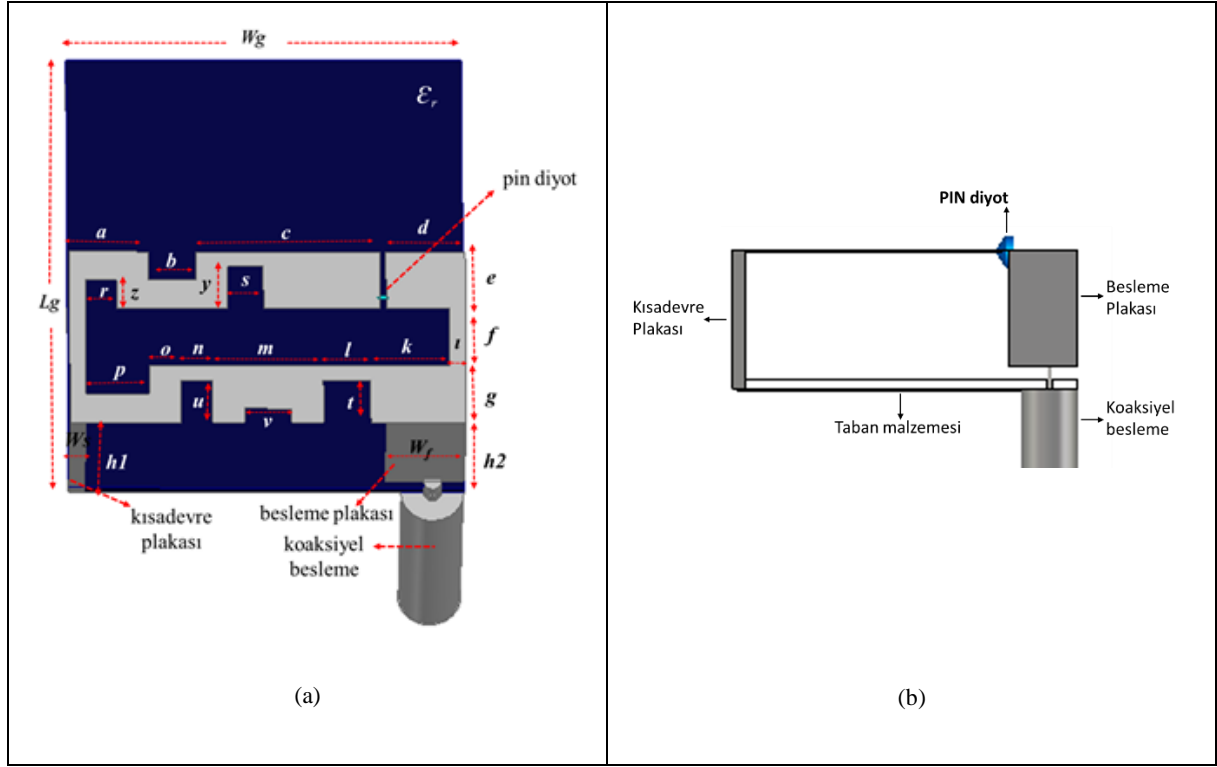
Frekansını yeniden yapılandırılabilen antenler, istenen frekans bantlarında frekans ayarına ve spektrumun verimli kullanımına odaklanırken; paterni yeniden yapılandırılabilir antenler, sinyalleri istenen yöne yönlendirmeye, enerji tasarrufu sağlamaya, kanal kapasitesini iyileştirmeye, kazancı arttırmaya ve bant içi girişimi azaltmaya odaklanır [3-6]. Bir antenin yeniden yapılandırılması, frekansının, polarizasyonunun veya radyasyon özelliklerinin değiştirilmesiyle elde edilir. Bu değişiklik, anten akımlarını yeniden dağıtan ve böylece antenin etkin açıklığının elektromanyetik alanlarını değiştiren farklı tekniklerle elde edilebilir. Yeniden yapılandırılabilir antenler, geometrilerini ve elektriksel davranışlarını modifiye ederek karmaşık sistem gereksinimlerini karşılayabilir, böylece çevresel koşullar veya sistem gereksinimleri içindeki değişikliklere (yani gelişmiş bant genişliği, çalışma frekansındaki değişiklikler, polarizasyon ve radyasyon modeli) uyum sağlayabilir. Yeniden yapılandırılabilirlik, kablosuz iletişim ve uydu iletişimi, algılama ve görüntüleme için modern, çevik, radyo frekansı (RF) sistemlerinin önemli ve istenen bir özelliği haline gelmiştir. Hem çevredeki RF ortamını algılayabilen hem de herhangi bir çekişmeli/sıkışık ortam içinde aynı anda haberleşebilen akıllı, bilişsel ve tetiklemeli RF cihazlarını birleştirmeye doğru bir kayma vardır. Verimli spektrum ve güç kullanımıyla olduğu kadar, genişletilebilir ve yeniden yapılandırılabilir çoklu hizmet, çoklu standart ve çoklu bant çalışmalarıyla başa çıkmak için istenen yeni yeteneklerden bazıları; frekans tetikleme, yazılım tanımlama ve bilişsel radyoları içerir. Bu içerikler, esnek olmayan donanımlı uyumsuz iletişim sistemlerine dayanan günümüz radyo teknolojilerine kıyasla bileşenlerin sayısını ve dolayısıyla donanım karmaşıklığını ve maliyeti önemli ölçüde azaltabilir [7].

Antenlerde ayarlanabilirlik sağlamak için elektriksel, optik, mekanik ve malzeme değişiklikleri olmak üzere dört ana teknik vardır [8]. Literatürde, PIN diyot, varaktör diyot, kapasitif yükleme, RF-MEMS, farklı akıllı malzemeler, optik anahtarlar kullanılarak yeniden yapılandırılabilir antenleri tasarlamak için farklı teknikler kullanılmış ve yeniden yapılandırılabilir ve ayarlanabilir anten tasarımları önerilmiştir [9-20]. Pin diyot, DEFA kısa devre piminin konumunu değiştirmek için kullanılarak DEFA frekansı yeniden ayarlanabilir ancak böyle bir durumda dört farklı anten durumunu etkinleştirmek için dört yeniden yapılandırılabilir bileşenin kullanılması gerekmektedir. Durum sayısı ve kullanılan bileşenler arasında daha iyi bir oran iç içe yuvalara dayalı bir geometri sayesinde elde edilmiştir ve burada, yeniden yapılandırılabilir bir DEFA sadece iki PIN diyotu kullanarak dört farklı duruma olanak tanımaktadır. Dolayısıyla, PIN diyotlarının basit açık-kapalı özelliği, onların anten rezonansının ince ayarını sağlamak yerine çok bantlı çalışmayı sağlamak için kullanımlarını daha uygun hale getirmektedir [21,22]. Ayrıca çok bantlı veya geniş bantlı minyatür anten tasarımı elde etmek için kıvrımlı şerit yapıların temel alan anten tasarımları literatürde rapor edilmiştir [23,24].

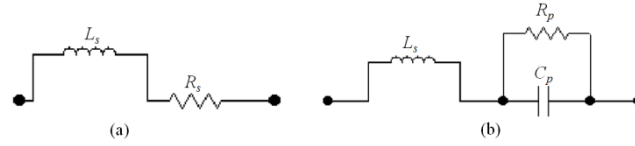
Bu çalışmada, kıvrımlı şerit yama elemanlarını temel alan yeni bir frekans ayarlanabilir DEFA tasarımı geliştirilmiştir. Çeyrek dalga yarım yama anteninden türetilen DEFA tasarımları, çeyrek dalga boyunda rezonansa geldiğinden, geleneksel yama antenlerine göre elektriksel olarak daha küçük olarak elde edilebilmektedirler. Öte yandan, ana ışın elemanı olarak kıvrımlı şerit hatların kullanılması sayesinde görece uzun olan akım yolu sınırlı bir hacimde elde edilerek antenin küçültülmesine olanak sağlamaktadır. Önerilen anten tasarımı tipik bir DEFA konfigürasyonudur ve tasarımın birincil radyatörü Şekil 1'de görüldüğü gibi simetrik olmayan kıvrımlı şerit elemanlarından oluşmaktadır. Bu elemanlar arasında optimum konumda yerleştirilen bir PIN diyotu aracılığıyla antenin frekans cevabı dinamik olarak ayarlanabilmektedir.

II. ÇİFT BANTLI FREKANSI AYARLANABİLİR KIVRIMLI ŞERİT DÜZLEMSEL EVRİLMİŞ F ANTEN TASARIMI

Önerilen antenin konfigürasyonu ve tasarım parametreleri Şekil 1'de sunulmuştur. Görüldüğü gibi önerilen anten, 0,64 mm kalınlığa ve $\epsilon_r=6,15$ dielektrik sabitine sahip Rogers RO3006 taban malzemesi üzerinde simetrik olmayan kıvrımlı şerit elemanlarından oluşmaktadır. Anten yüksekliği 10 mm'dir ve üst plaka ile taban malzemesi arasındaki tipik DEFA tasarımlarında olduğu gibi boşluk bulunmaktadır. Kısa devre levhasının genişliği 3 mm iken, besleme levhasının genişliği 4 mm'dir. Kısa devre levhası, üst levhanın sol üst köşesi ile taban malzeme arasına konumlandırılmıştır. Kısa devre ve besleme plakaları arasındaki yatay mesafe ise 20 mm'dir. Önerilen anten, simülasyonlarda besleme plakasına yerleştirilmiş bir akım probu ile beslenmiştir.



Şekil 1. Önerilen anten konfigürasyonu ve tasarım parametreleri. (a) Perspektif görüntüsü. (b) Yandan görüntüsü.



Şekil 2. HPND-4028 diyotunun eşdeğer devre modeli. (a) Pin diyot iletimde. (b) Pin diyot kesimde.

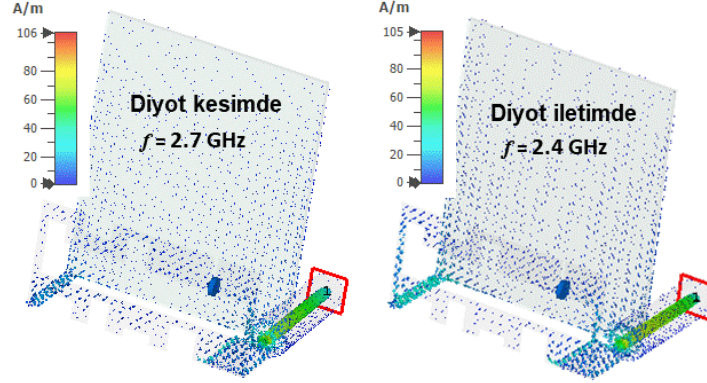
Tablo 1. Eşdeğer devre parametreleri ve değerleri.

Devre Elemanı	Değeri
Seri İndüktans (L_s)	0,5 nH
Seri Rezistans (R_s)	2,3 Ω
Paralel Rezistans (R_p)	1 k Ω
Paralel Kapasitans (C_p)	0,02 pF

Başta rezonans frekansları ve geri dönüş kaybı özellikleri olmak üzere arzu edilen anten performansını elde edebilmek için bir dizi parametrik çalışma yapılmıştır. Bu tasarım sürecinde, alt tabakanın kalınlığı ve geçirgenliği, kıvrımlı hat elemanlarının boyutları, kısa devre plakası ve besleme hattının konumu ve boyutları optimize edilen başlıca anten parametreleridir. Benzetim programları aracılığıyla elde edilen optimum anten parametreleri ise $W=25$ mm, $L=30$ mm, $W_s=1$ mm, $W_f=4$ mm, $a=5$ mm, $b=3$ mm, $c=8$ mm, $d=3,6$ mm, $e=5$ mm, $f=g=h=p=4$ mm, $k=5$ mm, $l=3$ mm, $m=7$ mm, $h_1=10$ mm, $h_2=8,36$ mm ve $hg=0,76$ mm'dir. Antenin frekans yapılandırması için kıvrımlı şerit hattı üzerinde bir süreksizlik açıklığı yaratılmış ve bu açıklıkta bir HPND-4028 PIN diyotu kullanılmıştır. Sayısal tasarımda PIN diyotun açık ve kapalı konumlarına ilişkin eşdeğer devre modelleri kullanılmış ve ilgili durumlar için anten performans analizleri gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2'de gerçek uygulamalarda aç/kapa anahtar elemanı olarak kullanılacak özelliklerdeki yarı-iletken teknolojisiyle üretilmiş HPND-4028 PIN diyota ilişkin RLC eşdeğer devre modeli verilmektedir. Fiziksel boyutları $0,06 \times 0,28 \times 0,69$ olan diyotun eşdeğer devre modeli eleman değerleri ise Tablo 1'de sunulmuştur. Görüldüğü üzere söz konusu eşdeğer devre modelinde; PIN diyot iletim durumunda iken seri direnç elemanı (R) ile, kesim durumunda (akım geçişine izin verilmediği ters besleme durumunda) ise düşük kapasitans değerine sahip bir kondansatör elemanı (C) kullanılmaktadır.

Önerilen antenin çalışma mekanizmasının daha iyi açıklanabilmesi için PIN diyotunun kesim ve iletim durumlarında yüzey akım dağılımı karakteristikleri Şekil 3’ de sunulmuştur. Görüleceği üzere diyotun her iki durumunda da besleme plakası ve kısa devre plakası üzerinde akım dağılımları yoğunlaşmakta ve ilgili frekanslarda antenin rezonansa gelmesinde belirgin rol oynamaktadırlar. Diğer taraftan diyot kesimde iken diyotun bağlı bulunduğu kol üzerinde akım geçişi sınırlı iken diyotun iletime geçmesi ile birlikte akım yoğunluğunun belirgin arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Önerilen antenin yüzey akım dağılımları.

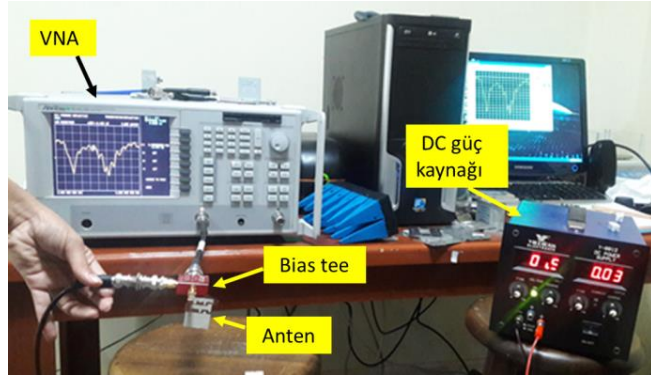
III. BENZETİM VE ÖLÇÜM SONUÇLARI

Bu çalışmada önerilen antenin üretimi Akdeniz Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan hassas kazıma özelliğine sahip LPKF baskı devre cihazı aracılığıyla 0,2 mm kalınlığında bakır kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen prototip antenin geri dönüş kaybı ölçümleri ise Akdeniz Üniversitesi Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi (EMUMAM) laboratuvarında, Anritsu 9 KHz- 9.3 GHz Vektör Network Analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4 ve 5’de sırasıyla üretilen prototip antenin fotoğrafı ve geri dönüş kaybı ölçüm düzeneğine ilişkin fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 4. Önerilen antenin prototipi

HPND-4028 PIN diyotunun katalogunda, ileri yöndeki eşik gerilimi 1,1 V iken taşıyabileceği maksimum akım 20 mA olarak verilmektedir. Diyot akımının sınırlanması için DC gerilimle diyotun bağlandığı hat arasında 270 Ω seri direnç kullanılması diğer taraftan, AC/DC gerilimlerinin izole edilmesi için 10 nH değerinde bobin ve 10 μ F değerinde kondansatör kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle anten deney düzeneğinde ilgili frekans arasında diyotun izolasyon, iletim ve kesim durumlarının eş zamanlı olarak sağlanabilmesi için Şekil 5’den görüleceği gibi antenin AC giriş sinyali ve diyotun DC beslemesi bir Bias tee üzerinden sağlanmıştır. Ölçüm düzeneğinde kullanılan Bias tee’nin fotoğrafı ve eş değer devre modeli Şekil 6’da verilmektedir. Diyotun iletim durumu için DC güç kaynağı üzerinden 1,5 V uygulanırken kesim durumu için ise 0V uygulanmıştır.

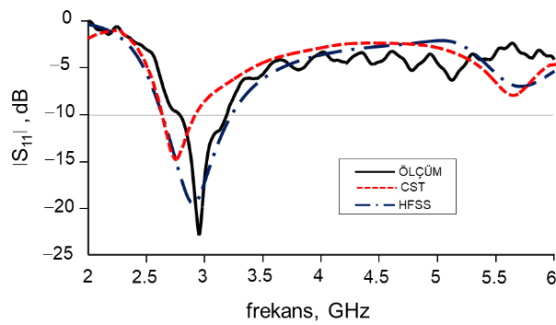


Şekil 5. Antenin geri dönüş kaybı ölçüm düzeneği.

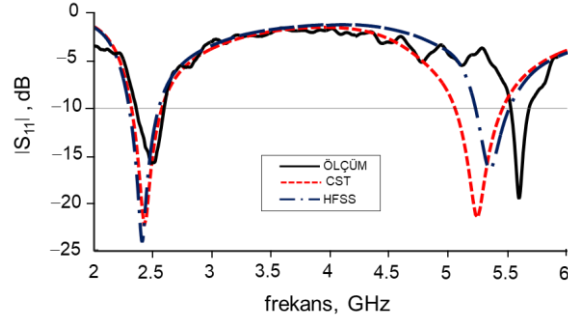


Şekil 6. HPND-4028 PIN diyotu aktif etmek için kullanılan Bias tee ve eşdeğer devre modeli.

Şekil 7'de HFSS ve CST benzetim yazılımları ve prototip anten geri dönüş kaybı (S_{11}) ölçüm sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Görüldüğü gibi diyotun iletim ve kesim durumlarında benzetim sonuçları oldukça uyumludur. Diyotun kesim durumunda benzetim ve ölçüm sonuçları oldukça uyumlu iken, iletim durumunda sadece üst bantta ölçüm sonucu bir miktar yukarı yönlü kayma sergilemiştir. Söz konusu küçük frekans kaymasının antenin üretim ve ölçüm süreçlerindeki tolerans farklılıklarından kaynaklanmış olabileceği değerlendirilmiştir. Antenin HFSS benzetim sonuçları dikkate alındığında diyotun kesim durumunda, 2.95 GHz' de %24 bant genişliğine sahip tek bant performans elde edilmiştir. Diyotun iletim durumunda ise 2.47 GHz ve 5.2 GHz'de %6 bant genişliklerine sahip çift bant performans elde edilmiştir. Böylece önerilen antenin frekans cevabı diyotun iletim/kesim durumlarına bağlı olarak dinamik olarak ayarlanabilmiş ve kesim durumda WiMAX bandında tek bant, iletim durumunda ise 2.4 GHz ve 5.2 GHz WLAN bantlarında çift bant performans elde edilmiştir.



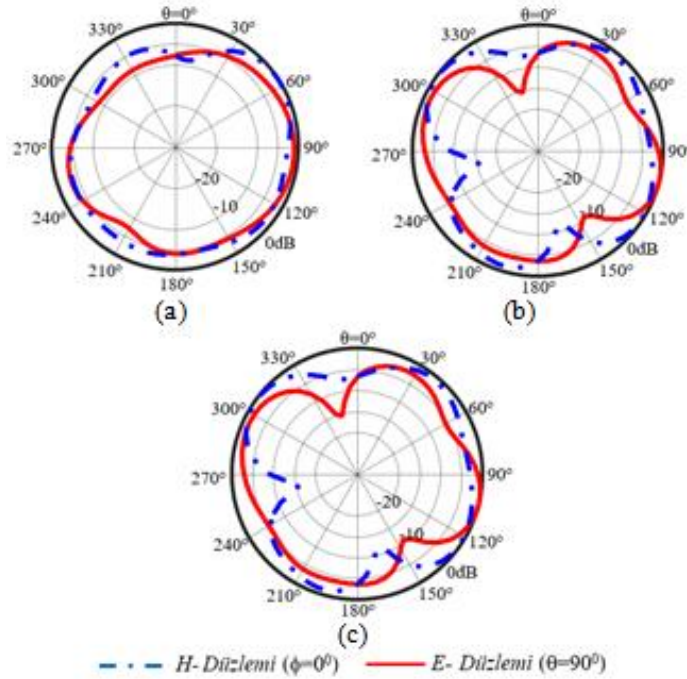
(a)



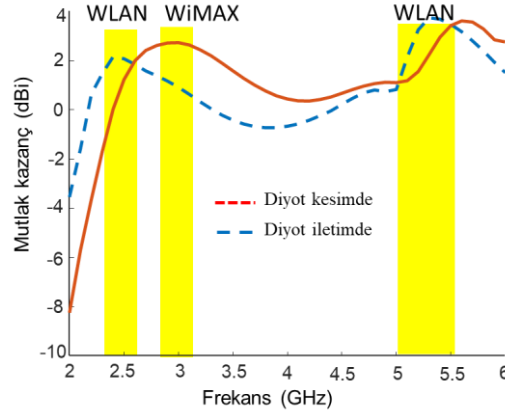
(b)

Şekil 7. Önerilen antenin geri dönüş kaybı benzetim ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması. (a) PIN diyot kesimde (b) PIN diyot iletimde.

Önerilen antenin hesaplanan E ve H düzlem ışınma örüntüleri Şekil 8’de verilmektedir. Görüldüğü üzere anten, diyotun iletim ve kesim durumlarındaki frekansların ($f=2.4$, $f=2.7$ ve $f=5.2$ GHz) tamamında düzgün bir ışınma performansı sergilemektedir. Ayrıca antenin PIN diyot iletimde ve kesimde durumları için frekansa bağlı olarak elde edilen mutlak kazanç karakteristikleri Şekil 9’ da verilmektedir. CST benzetim yazılımı aracılığıyla hesaplanan bu kazanç karakteristiği antenin birincil huzmesi durumundaki açı değerlerinde ($\theta = 0^\circ$ ve $\phi = 0^\circ$) elde edilmiştir. Görüldüğü gibi diyotun kesim durumunda olduğu WiMAX bandı boyunca önerilen anten kazancı 3dBi seviyesindedir. Anten kazancı diyotun iletim durumunda 2.4 GHz WLAN bandında 2 dBi ve 5.2 GHz WLAN bandında ise 4 dBi seviyesindedir.



Şekil 8. Önerilen antenin hesaplanan ışınma modelleri. (a) $f=2.4$ GHz diyot iletimde (b) $f=5.2$ GHz diyot iletimde (c) $f=2.7$ GHz diyot kesimde.



Şekil 9. Önerilen antenin diyot iletimde ve kesimde durumları için mutlak kazanç karakteristiği.

Bu çalışmada önerilen anten boyut, çalışma frekans bantları, tasarımda kullanılan anahtar türü ve sayıları açısından güncel literatüre rapor edilen benzer çalışmalarda Tablo 2’ de karşılaştırılmıştır. Görüleceği üzere önerilen anten diğer çalışmalardan farklı frekans bantlarında çalışmaktadır. Ayrıca önerilen çalışmada 3 ayrı frekans bandı tek bir PIN diyotu kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca önerilen antenin boyutları rapor edilen çalışmalarda sunulan antenler ile kıyaslanabilir durumdadır. Diğer taraftan, rapor edilen çalışmalarda anten kazanç değerleri farklı standartlarda (maksimum kazanç, yönlendirme kazancı veya mutlak kazanç vb) verildiğinden bu bağlamda bir karşılaştırmaya yer verilememiştir. Yine de Şekil 9’ dan da görüleceği üzere önerilen antenin mutlak kazanç değerleri 2-4 dBi seviyelerinde elde edilerek pratik uygulamalar için oldukça yeterli olacaktır.

Tablo 2. Yeniden yapılandırılabilir DEFA antenlerin karşılaştırılması.

Kaynak	Anten boyutları (mm)	Çalışma frekans bantları	Anahtar sayısı ve türü
25	63.5 × 33.5 × 1.6	2.1 / 2.4 / 3.5 GHz	3 adet PIN diyot
26	44 × 14 × 3.2	GSM 850 / 900 ve UMTS 2100 MHz	2 adet PIN diyot
27	100 × 66 × 3.15	0.85 / 1.85 / 2.45 GHz	4 adet varaktör diyot
28	100 × 100 × 6.86	1.52-2.25 GHz	1 adet RF MEMS
29	40 × 95 × 7	88-2175 MHz	1 adet varaktör diyot
30	63 × 100 × 3.15	0.7-1.1 GHz ve 1.7-2.3 GHz	2 adet varaktör
Önerilen anten	30 × 25 × 10	2.4 / 3.0 / 5.2 GHz	1 adet PIN diyot

IV. SONUÇLAR

Bu makalede, WLAN ve WiMAX uygulamaları için yeni bir frekans ayarlanabilir DEFA tasarımı sunulmuştur. Anten boyutunu olabildiğince minyatürize etmek için antenin ana radyatörü olarak simetrik olmayan kıvrımlı şerit elemanları kullanılmıştır. Bu elemanlar arasında optimum konumda yerleştirilen bir PIN diyot aracılığıyla antenin frekans cevabı dinamik olarak ayarlanabilmektedir. Diyotun kesim durumunda anten 2.7 GHz WiMAX bandında, iletim durumunda ise 2.4 ve 5.2 GHz WLAN bantlarında rezonansa gelmektedir. Böylece IEEE standartlarıncı belirlenmiş olan WiMAX ve WLAN bantları tek bir anten elemanı ile kapsanabilmektedir. Ayrıca kompakt yapıdaki anten diyotun açık ve kapalı konumları için ilgili rezonans frekanslarında oldukça düzgün bir ışınım performansı sergilemekte ve 2 ile 4 dBi arasında mutlak kazanç performansı sunmaktadır.

TEŞEKKÜR

Önerilen antenin ölçüm süreçlerinde verdikleri destekten dolayı, Akdeniz Üniversitesi Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi yönetimine çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Iqbal, A. Tiang, J. J., Wong, S. K., M., Alibakhshienari, Falcone, F., & Limiti, E. (2020). Miniaturization trends in substrate integrated waveguide (SIW) filters: a review, *IEEE Access*, 8, 223287-223305.

- [2] Ghaffar, A., Altaf, A., Aneja, A., Jun Li, X., Khan, S., Alibakhshikenari, M., Flalcone, F. & Limiti, E. (2022). A Frequency reconfigurable compact planar inverted-F antenna for portable devices, *Hindawi International Journal of Antennas and Propagation*, 2022, 1-9.
- [3] Akyildiz, I. F., Lee, W.-Y., Vuran, M. C. & Mohanty, S. (2006). NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey. *Computer Networks*, 50 (3), 2127-2159.
- [4] Dong, J., Li, Y., & Zhang, B. (2011). A survey on radiation pattern reconfigurable antennas. *7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, Wuhan, China, 1-4.
- [5] Borhani, M., Rezaei, P., & Valizade, A. (2016). Design of a reconfigurable miniaturized microstrip antenna for switchable multiband systems. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 15, 822-825.
- [6] Lee S. W., & Sung, Y. (2015). Compact frequency reconfigurable antenna for LTE/WWAN mobile handset applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 63(10), 4572-4577.
- [7] Christodoulou, C. G., Tawk, Y., Lane, S. A., & Erwin, S. R. (2012). Reconfigurable antennas for wireless and space applications. *Proceedings of the IEEE*, 100 (7), 2250-2261.
- [8] Costantine, Y., Tawk, G., & Christodoulou, C. G. (2013). Design of reconfigurable antennas using graph models. *Springer*, 148.
- [9] Lim, J.H., Song, C.W., Jin, Z.J., & Yun, T.Y. (2013). Frequency reconfigurable planar inverted-F antenna using switchable radiator and capacitive load. *IET Microwaves Antennas Propag.*, 7(6), 430-435.
- [10] Ghaffar, A., Li, X. J., & Seet, B. C. (2017). Dual frequency band and polarization reconfigurable antenna for mobile devices. *Proceedings of the 2017 IEEE 17th International Conference on Communication Technology (ICCT)*, October, Chengdu, China 696-700.
- [11] Al-Zayed, A. S., Kourah, M. A. & Mahmoud, S. F. (2014). Frequency-reconfigurable single- and dual-band designs of a multi-mode microstrip antenna. *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, 8(13), 1105-1112.
- [12] Al-Zayed, A. S., Kourah, M. A., & Mahmoud, S. F. (2017). Tunable H-shaped microstrip antenna with dual feeding. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2017, 1-6.
- [13] Basaran, S. C., & Sertel, K. (2015). Dual-band frequency reconfigurable monopole antenna for WLAN applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, 57(1), 55-58.
- [14] Başaran, S. C. (2014). Design of a frequency reconfigurable monopole antenna with complementary split ring resonators. *Microwave and Optical Technology Letters*, 56(4), 977-979.
- [15] Awan, W. A., Hussain, N., Naqvi, S. A., Iqbal, A., Striker, R., Mitra, D., & Braaten, B. D. (2020). A miniaturized wideband and multi-band on-demand reconfigurable antenna for compact and portable devices. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 122, 153266.
- [16] Wright, M. D., Baron, W. J., Miller, J., Tuss, J., Zeppetella, D., & Ali, M. (2018). MEMS reconfigurable broadband patch antenna for conformal applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 66 (6), 2770-2778.
- [17] Ding, Z., Jin, R., Geng, J., Zhu, W., & Liang, X. (2019). Varactor loaded pattern reconfigurable patch antenna with shorting pins. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 67(10), 6267-6277.
- [18] Smida, A. Iqbal, A. Selmi, M., Althuwayb A. A., & Mallat, N. K. (2021). Varactor diode-based dual-band frequency tunable multiple-input multiple-output antenna. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 31(2), e22519.
- [19] Wang, C., Yeo, J. C., Chu, H. C., Lim, T. & Guo, Y.-X. (2018). Design of a reconfigurable patch antenna using the movement of liquid metal. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17(6), 974-977.
- [20] Iqbal A., & Saraereh, O. A. (2017). A compact frequency reconfigurable monopole antenna for Wi-Fi/WLAN applications. *Progress In Electromagnetics Research Letters*, 68, 79-84.
- [21] Thao, H. T. P., Luan, V. T. & Yem, V. V. (2016). Design of compact frequency reconfigurable planar inverted-F antenna for green wireless communications," *IET Commun.*, 10(18), 2567-2574.
- [22] Asadallah, F. A., Costantine, J. & Tawk, Y. (2018). A multiband compact reconfigurable PIFA based on nested slots. *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, 17(2), 331-334.
- [23] Lee, M. W. K., Leung, K. W., & Chow, Y. L. (2014). Low cost meander line chip monopole antenna. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 62(1), 442-445.
- [24] Chen, I.-F., & Peng, C.-M. (2011). Compact modified pentaband meander-line antenna for mobile handsets applications. *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, 10, 607-610.
- [25] Minh, P. T., Duc, N. T. P., Vu, X., Chuyen, N. T. & Yem, V. V. (2017). Low profile frequency reconfigurable PIFA antenna using defected ground structure. *REV Journal on Electronics and Communications.*, 7, 9-17.
- [26] Ghaffar, A., Li, X. J. & Ahmad, T. (2020). A compact frequency reconfigurable PIFA antenna for heterogeneous applications. *2020 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*, Hong Kong, 628-630.
- [27] Alazemi, A. J., & Rebeiz, G. M. (2019). A tunable single-feed triple-band LTE antenna with harmonic suppression. *IEEE Access*, 7, 104667-104672.
- [28] Chaabane, G., Madrangeas, V., Chatras, M., Arnaud, E., Huitema, L., & Blondy, P. (2017). High-linearity 3-Bit frequency-tunable planar inverted-F antenna for RF applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 983-986.

- [29] Liu, L., Rigelsford J., & Langley, R. (2013). Tunable multiband handset antenna operating at VHF and UHF bands. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 61(7), 3790-3796.
- [30] Avser, B., & Rebeiz, G. M. (2015). Tunable dual-band antennas for 0.7–1.1-GHz and 1.7–2.3-GHz carrier aggregation systems. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 63(4), 498-1504.



Araştırma Makalesi - Research Article

Dijital İkiz Oluşturmada Nokta Bulutlarına Dayalı Analiz

Point Cloud-Based Analysis in Digital Twinning

Abdurahman Yasin Yiğit^{1*}, Murat Uysal²

Geliş / Received: 08/11/2022

Revize / Revised: 02/02/2023

Kabul / Accepted: 14/03/2023

ÖZ

Teknolojinin gelişimi ile gerçek dünyadaki nesnelere sanal ortama aktarılmaya başlanarak hedef nesneye ait tüm veri akışları ve süreçleri yönetme ihtiyacı daha kolay sağlanmış olmaktadır. Dijital ikizlerin en önemli özelliği, gerçek dünyayı olabildiğince doğru ve güncel yansıtmasıdır. LiDAR ve fotogrametri yöntemi kullanımı, fiziksel ortamların üç boyutlu nokta bulutlarının oluşturulmasında oldukça popüler hale gelmiştir. Dijital ikizler, gerçek dünyayı detaylı bir şekilde temsil edebilmesinin yanı sıra en faydalı özelliklerinden biri de nokta bulutlarının doğrudan kullanıma uygun olmasıdır. Bu sayede, fazla işlem adımıyla gerek kalmadan doğrudan bir dijital ikiz için üç boyutlu geometrik model olarak nokta bulutları kullanılabilir. Üç boyutlu geometrik modeli güncellemek için değişen alanların yeniden taranması ve ardından değişimin içindeki bu nesnelere bir nokta bulutunu sağlayan değişiklik algılama operasyonlarının yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada dijital ikiz üretiminde nokta bulutlarının önemi ve doğrudan kullanımı irdelenmiş olup bu amaç doğrultusunda üç adet geometrik yapısı düzgün olmayan ve karmaşık yapıya sahip heykeller üzerinde fotogrametrik çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilen veriler neticesinde özellikle derinlik algısının zor olduğu kısımlarda modellerin eksik olduğu gözlemlenmiş ve önerilerde bulunulmuştur. Sonuç olarak dijital ikizi oluşturmak ve güncellemek için hızlı ve düşük maliyetli veri toplama SfM tabanlı fotogrametrik yazılımlar aracılığıyla üretilen nokta bulutları büyük avantaj sağladığı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler- Dijital İkiz, Nokta Bulutu, Fotogrametri, SfM

ABSTRACT

With the development of technology, objects in the real world are transferred to the virtual environment, making it easier to manage all data flows and processes of the target object. The most important feature of digital twins is that they reflect the real world as accurately and up-to-date as possible. The use of LiDAR and photogrammetry has become very popular in the creation of three-dimensional point clouds of physical environments. Besides being able to represent the real world in detail, one of the most useful features of digital twins is that point clouds are suitable for direct use. In this way, point clouds can be used directly as a three-dimensional geometric model for a digital twin without the need for many processing steps. To update the three-dimensional geometric model, it is necessary to rescan the changed areas, and then perform change detection operations that provide a point cloud of these objects within the change. In this study, the importance and direct use of point clouds in the production of digital twins were examined, and for this purpose, photogrammetric studies were carried out on three sculptures with irregular geometrical structures and complex structures. As a result of the data obtained in the study, it was

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ayasinyigit@mersin.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9407-8022>)

Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mersin, Türkiye

²İletişim: muysal007@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-5202-4387>)

Harita Mühendisliği Bölümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Afyonkarahisar, Türkiye

observed that the models were missing, especially in the parts where depth perception is difficult, and suggestions were made. As a result, it has been found that point clouds produced by SfM-based photogrammetric software provide a great advantage in fast and low-cost data collection to create and update the digital twin.

Keywords- Digital Twin, Point Cloud, Photogrammetry, SfM

I. GİRİŞ

Nokta bulutu verilerine dayalı bir dijital ikiz oluştururken ve güncellenirken birden fazla sorun ve buna karşılık gelen zorluklar tanımlanabilir. İlk sorun, dijital ikizi oluşturulmak istenen nesne veya ortama ait başlangıç durumunda yatmaktadır [1, 2]. Dijital ikizin bir noktada yaratılması gerektiğinden; Üç Boyutlu (3B) gösterim, belirli bir zaman noktasındaki fiziksel ortamın durumunu taklit etmektedir. Bu durum, 3B gösterimin ve dolayısıyla dijital ikizin yalnızca gerçekliğin bir anlık görüntüsünü yansıttığı anlamına gelirken dijital ikizin kullanım amacına bağlı olarak başlangıç durumuna, ne zaman ve nereden başlayacağına ilişkin seçimler yapılması gerekmektedir [3-5]. Dijital ikizin oluşturulacağı nesne veya ortamın zorluğu, mümkün olduğu kadar eksiksiz ve gelecekteki değişikliklere ve güncellemelere izin veren ve dijital ikizin işlevsel gereksinimlerini karşılayan bir 3B gösterim elde etmekte yatmaktadır [6, 7]. Dijital ikiz oluşturmada hangi nesnelerin başlangıçta dâhil edileceği ve hangilerinin hariç tutulacağı konusunda seçimler yapılması gerekmektedir. Tüm bu zorluklar, en uygun başlangıç durumunu sağlamak için verilerin nasıl toplandığı ve işlendiği konusunda seçenekler gerektirir [8-10].

İkinci sorun, fiziksel ortamdaki değişikliklerin saptanma biçiminde ve bu değişikliklerin dijital ikize nasıl uygulandığında yatmaktadır. Araştırılması ve analizi yapılan nesne veya ortamın dijital ikizi yapıldıktan sonra bir şekilde fiziksel olarak ilk değişiklikler meydana geldikten sonra zaten modası geçmiş olduğundan bu değişiklikleri tespit etmek ve bunları dijital ikize uygulamak gerekir. Bu durumda zorluk, değişiklik tespitinin verimliliği ve kalitesi arasında en uygun dengeyi bulmakta yatmaktadır. Değişikliklerin çoğunlukla bir sürecin parçası olduğu için bir değişikliğin hangi noktada nihai olarak kabul edildiği dikkate alınırken değişiklik tespitinin verimliliği ve kalitesi arasındaki optimal dengenin bulunmasına ilişkin seçimlerin yapılması gerekmektedir [7-11]. Ek olarak değişikliklerin tanınması, saptanması ve doğrulanması gerekir. Buradaki zorluk ise, bu süreçlerden geçmek için yeterli olsa da en verimli yöntemleri bulmakta yatmaktadır.

Üçüncü sorun, dijital ikizin geometrik modelinin güncellenmesi ve güncel tutulmasıdır [10]. Gerçek dünyadaki değişikliklerin dijital ikize güncellenmeden önce tanınması, saptanması ve doğrulanması gerekmektedir. Gerçek dünyanın dijital bir temsiline sahip olmak, onu mevcut ve gelecekteki gelişmelerle güncel tutmak, fayda değerinin artırılabilceği yer olarak karşımıza çıkmaktadır [10-15]. Değişimi tespit etmek ve bu değişiklikleri güncellemek dinamik ve devam eden bir süreç olmalıdır. Zorluk, değişiklikleri doğru bir şekilde belirlemek ve taramaktır. Ardından dijital ikizin değişikliklere göre uygun şekilde ayarlanması gerekmekte olup ayrıca, verilerin saklanması ve önceki durumların belgelenmesi ile ilgili seçimlerin yapılması gerekmektedir [16, 17].

Dijital ikiz oluşturmada en önemli kavram elde edilen sanal objenin gerçekliği ne kadar iyi temsil ettiği ve güncellenebilir olmasıdır. Çalışmanın nihai amacı nokta bulutu verilerinin bir dijital ikizi temsil etmek ve sürdürmek için doğrudan ne ölçüde kullanılabileceği ve bu süreçlerle ilgili pratik çıkarımlar hakkında bilgi edinmek olacaktır. Daha spesifik olarak, amaç hem ulusal hem de uluslararası düzeyde devam eden gelişmeleri dikkate alırken karakteristik dijital ikizlerle ilgili mevcut durumun anlaşılmasını sağlamaktır. Çalışmada dijital ikiz oluşturmada fotogrametrik nokta bulutu verileri araştırılmıştır. Kodde (2016), fotogrametri tekniğinin hem donanım hem de algoritmalarındaki ilerlemeler ve yeni gelişmeler nedeniyle temelde aynı nesnenin veya alanın farklı perspektiflerden görüntüleri oluşturularak 3 boyutlu geometrinin elde edildiği görüntü eşleştirme yöntemlerine dayandığının ve son teknolojik gelişmeler ve yazılımların gelişmesi ile dijital ikiz oluşturmada kullanılabileceğini aktarmıştır [49].

Remondino vd. (2014), çalışmalarında dijital ikiz oluşturmada lazer tarama ve fotogrametri teknikleri kullanarak nokta bulutu verilerinin elde edilmesinin giderek yaygınlaşan yöntem olduğunu aktarmışlardır. Sonuç olarak çalışmalarında, fiziksel bir 3B ortamın nokta bulutu verilerinin toplanması daha erişilebilir hale geldiğinin ve lazer tarama tekniklerinin 3B veri yakalama için baskın teknoloji haline gelmesini aktarmışlar ve fotogrametri tekniğinin lazer tarama tekniğine alternatif olabileceğinden bahsetmişlerdir [50]. Wang vd., (2015) pek çok amaç için bir şehrin nispeten basit, düşük kaliteli bir 3B temsili, istenen işlevlerin elde edilmesi için yeterli olacağını söylemişlerdir. Bununla birlikte, 3B modelleme ve görselleştirme tekniklerindeki gelişmeler ile 3B veri toplamanın; ayrıntılı, yüksek çözünürlüklü bir 3B şehir temsili oluşturmanın zaman ve maliyet yönlerini önemli ölçüde azalttığından bahsetmişlerdir. Veri toplama tekniklerin çeşitli veri türlerine dayanabilir olduğundan fakat bunlardan nokta bulutu verilerinin, ortamı olduğu gibi 3B olarak temsil etmek için giderek daha fazla kullanıldığını aktarmışlardır [38]. Discher vd. (2019), nokta bulutunu oluşturmanın dijital ikiz temsiline çok gerçekçi bir sunum

sağladığını dile getirmiştir [51]. Zhang vd. (2021), nokta bulutu verilerinin genellikle daha fazla ayrıntı sağladıklarından dolayı raster veya vektör veri türlerine kıyasla birçok faydalı özelliğine sahip olduğunu söylemişlerdir. Yüksek nokta yoğunluğu; hassas, doğru ve yüksek kaliteli analizlere olanak tanıyacağını ve ayrıca, belirli noktaların hızlı seçilmesine ve görselleştirilmesine izin vereceğini ve farklı ayrıntı seviyelerinde iyi organize edilebileceğinden dijital temsil için nokta bulutu verilerinin önemini aktarmışlardır [46].

Sorun bildiriminde ele alındığı gibi, çeşitli sorunlar ve zorluklar tanımlanabilir. Sonuç olarak, bu araştırmanın amaçları bu zorluklardan yola çıkacaktır. Birinci amaç, fiziksel ortamın eksiksiz ve ayrıntılı bir temsili elde etmek için nokta bulutu verilerinin doğrudan kullanımına dayalı bir dijital ikiz yaratmanın mevcut yöntemlerine ve değerlendirmelerine genel bir bakış sağlamaktır [18-24]. Odak noktası, bir 3B temsil oluşturmak için bir ara ürün olmak yerine, temsilin kendisi olarak nokta bulutu üzerinde olacaktır [25, 26]. Bunu başarmak için amaç, dijital ikiz olarak işlev görmek için böyle bir temsilin temel gereksinimlerini formüle etmenin yanı sıra, bu temel gereksinimlerin bir prototip dijital ikizde nasıl uygulanabileceğini göstermektir. İkinci amaç, fiziksel ortamdaki değişiklikleri tespit etmek ve bu değişiklikleri dijital ikize güncellemek için nokta bulutu verilerinin kullanımına ilişkin yöntemler hakkında bilgi edinmektir. Ayrıca, sayısal ikizin değişim tespiti ve güncellenmesinin pratik uygulamalarına ilişkin en uygun yöntemlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Üçüncü amaç, dijital ikizin oluşturulması, değişikliğin saptanması ve güncel tutulması yöntemlerine dayalı olarak, yapıyı çevredeki değişiklikleri algılama ve dijital ikize güncelleme sıklığı konusunda bir strateji sağlamaktır.

II.MATERYAL VE METOT

Çalışmada dijital ikiz üretmek için fotogrametrik nokta bulutları kullanılmıştır. Bu çalışma, karmaşık objelerin dijital ikizlerinin oluşturulması ve sanal dünyaya aktararak tam bir temsilin oluşturulmasını kapsamaktadır. Dijital ikizlerin gelişimi için gerekli ürünleri sağlamak amacıyla düzgün geometriye sahip olmayan karmaşık obje olarak nitelendirilebilecek üç adet heykel seçilmiştir. Heykellerin ilk olarak 3B modellemesi ve temsili için, fotogrametrik veri toplama ve işleme yöntemi uygulandı. Dijital görüntüler, yüksek çözünürlüklü mobil telefon kamerası kullanılarak her bir heykelin boyutuna, karmaşıklığına, ayrıntı düzeyine ve kısıtlamalarına göre farklı şekillerde elde edildi. Kullanılan kameranın teknik özellikleri ve objelerin boyutları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan kameranın teknik özellikleri ve objelerin boyutları

Kameranın Teknik Özellikleri		Kullanılan obje			
Öznitelik	Değer		En (cm)	Boy (cm)	Yükseklik (cm)
Kamera Modeli	Xiaomi Mi6	Obje 1	25	20	40
Kamera Çözünürlüğü	12 Mp-1.25 µm				
Renk Sayısı	16 Milyon	Obje 2	25	20	40
Diyafram Açıklığı	F1.8				
Odak Uzaklığı	27 mm	Obje 3	30	25	60
Coğrafi Konum Etiketleme	Var				

Dikkate alınması gereken en önemli unsur kullanılan fotogrametri yönteminin ana verisi olan fotoğrafların çekimi oluşturmaktadır. Tablo 1'de verildiği üzere objeler büyük olmamakla beraber mikro boyutunda da değildir. Objeler boyutu ve hacmi küçüldükçe fotoğraf çekim teknikleri daha da önemli hale gelmektedir. Objelerin küçük olması ve karmaşık yapıları gereği bazı kısıtlamalar oluşabilmektedir. Bu kısıtlamaların üstesinden gelmek için, dijital görüntülerin elde tutulan kameralarla veya belirli metre yüksekliğindeki bir kamera tutucusuna monte edilen kameralarla elde edilmesi gibi başka yöntemler uygulanabilir. Ayrıca objelerin yüzeylerinin doğru bir şekilde belirlenmesi ve nokta bulutlarına bütünlük sağlanması için görüntü oluşturabilecek etraftaki diğer objelerin temizlenmesi gerekmektedir. Çalışmada fotoğraf çekimi uygulanırken Şekil 1'de gösterilen tasarım uygulanmıştır. Uygulana tasarıma göre telefon kamerası bir sabitleyici ile kullanılmış olup obje üzerine tam tepede olacak şekilde aydınlatma sağlamış olup bu şekilde gölgelerden kaçınılmıştır. Ayrıca telefon tutacağı ile titremelerin önüne geçilmiştir. Şekil 1'de gösterildiği üzere her bir obje aynı ortamda ve kırmızı ok yönünde fotoğraf çekimleri 360° olacak şekilde çekilmiştir.

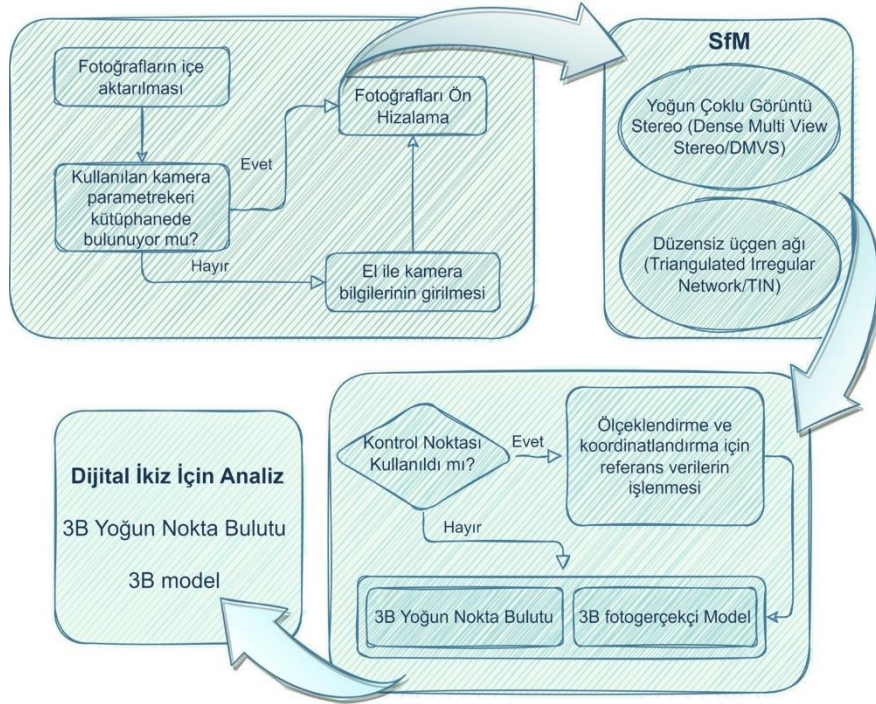
Her bir heykelin şekil veya boyutunun izdüşüm nedeniyle deformasyona uğramaması için gerekli ölçümleri minimum kısıtlamalarla yapmak için her alanda yerel bir referans koordinat sistemi kuruldu. Bu amaçla obje etrafından yazılım tarafından otomatik tanımlanan hedef işaretleri kullanıldı. Bu hedef işaretleri kullanılarak hem model istenilen referans çerçevesine getirildi hem de modelin ölçeklendirilmesi yapıldı. Alınan verilerin işlenmesi için her dokümantasyon sürecinde olduğu gibi standart fotogrametrik iş akışı takip edildi. Çalışmada, dijital görüntülerin sıralandığı, yoğun nokta bulutlarının oluşturulduğu ve daha fazla işlendiği bir görüntü tabanlı modelleme yazılım paketi (Agisoft Metashape) kullanıldı. Ardından oluşturulan nokta bulutları görüntülerden

arındırıldı, referanslama ve ölçeklendirilmesi tamamlandı ve son olarak her nokta nesnesi, temsil için üçgenlenmiş düzensiz ağ yöntemi kullanılarak bir çokgen nesnesine dönüştürülerek dijital ikiz oluşturuldu.



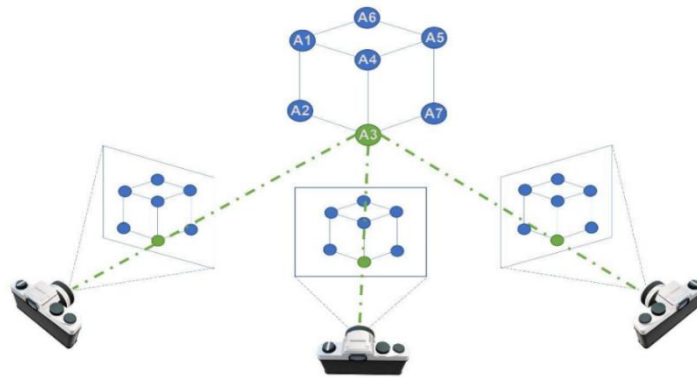
Şekil 1. Çalışmada uygulanan fotoğraf çekim tasarımı

Çalışmada 3B nokta bulutu için tercih edilen fotogrametrik yöntemde süreç genellikle algoritmalar kullanılarak otomatik olarak gerçekleştirilir. Fotogrametrik nokta bulutu oluşturulmasında Hareket tabanlı yapısal algılama (Structure from Motion/SfM) algoritması kullanılmaktadır. SfM; sahnenin geometrisini, kamera konumlarını ve oryantasyonu, bilinen 3B konumlara sahip bir hedef ağının önceden tanımlanmasını gerektirmeden otomatik olarak çözen bir fotogrametrik algoritmadır [26-30]. 3B geometri oluşturması için iki veya daha fazla örtüşen görüntüye ihtiyaç vardır. Aynı nesneyi gösteren iki veya daha fazla örtüşen görüntü arasındaki çapraz korelasyona dayanarak, görüntülerin yönü bilinerek yükseklik bilgisi belirlenebilir. Görüntülerdeki her piksel için bu işlem tekrarlanırsa 3 boyutlu nokta bulutu oluşturulabilir. Nokta bulutu verileri oluştururken LiDAR'a göre yoğun görüntü eşleştirme kullanmanın bir avantajı, renk niteliklerinin noktalar içinde otomatik olarak depolanması ve böylece hem geometri hem de RGB değerleri açısından gerçekliğin fotogerçekçi bir temsili doğrudan sağlamasıdır [30-32]. Kolay erişilebilir ve ucuz olmasından dolayı bilimsel araştırmalarda kullanımı çok yaygın hale gelen SfM algoritması; düşük maliyeti, son derece hızlı sonuçları ve basit 3B ölçüm yetenekleri nedeniyle yer bilimleri araştırmalarında dönüştürücü bir etkiye sahip olmuştur. Çalışmanın dijital ikiz üretimindeki genel iş akışı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın genel iş akış diyagramı

SfM algoritmasında, bir 3B yapı oluşturmak için bir dizi örtüşen fotoğraf çerçevesi kullanılır. Bir dizi örtüşen fotoğraftaki ortak noktaları bulup eşleştirerek çalışır (Şekil 3). Bilgisayar görselleştirme tabanlı bir ölçüm yöntemi olan SfM; dijital kamera, video kamera veya kameralı akıllı telefon kullanımı nedeniyle son zamanlarda popüler hale gelen ve ucuz olan bir yöntemdir [30 -36]. Bu algoritmaları ve yöntemleri kullanan yazılımlar önce fotoğrafları sıralar ve ön dengeleme yapar ardından seyrek nokta bulutları oluşturur. Bunun için, görüntüler arasındaki eşleşen noktaları otomatik olarak bulmak için algoritmalar kullanılır. SfM'nin bir başka aşaması, yoğun nokta bulutları oluşturma sürecidir. Bu aşamada kullanılan algoritma Yoğun Çoklu Görüntü Stereo (Dense Multi View Stereo/DMVS) algoritmasıdır [38, 39]. Yoğun nokta bulutları oluşturma sürecinde, birbirine eşlenmesi gereken pikseller ve bunların sanal 3B konumları tahmin edilerek katı modeller ve nokta bulutları oluşturulur. Son aşamada ise sanal uzayda oluşturulan modele gerçekçi ve doğal bir yüzey kazandırmak için görüntü kullanılarak foto-gerçekçi bir 3B model elde edilir.



Şekil 3. SfM algoritmasına uygun fotoğraf çekim tekniği [18]

III. BULGULAR

3B modelleme çalışmalarında fotogrametrik değerlendirme yazılımı çok önemlidir. Günümüzde piyasada bulunan birçok yazılım bulunmaktadır. Ancak yapılan araştırmanın içeriğine göre fotogrametri yazılımı seçimi oldukça önemlidir. Her yazılımın olağanüstü yetenekleri vardır. Genel olarak en önemli nokta; sonuç, ürünün kalitesi ve işlemlerin kaç adımda ve ne kadar süre aldığıdır. Bu noktada Agisoft Metashape yazılımı, fotogrametrik

veri üretmek için SfM algoritmasını kullanan yazılımlar arasında fotogerçekçi modellerin üretiminde en fazla kullanılan yazılım olduğu için tercih edilmiştir [39].

Şekil 1’de gösterilen fotoğraf çekme senaryosuna göre obje 1, 2 ve 3 için sırasıyla 98, 78, 108 adet fotoğraf çekilmiştir. Fotoğrafların her obje için farklı sayıda olması objenin boyutu ve karmaşıklığı ile entegrelidir (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışmada kullanılan heykellerin örnek fotoğrafları (sol: Objekt 1 – Orta: Objekt 2 – Sağ: Objekt 3)

Fotoğraflar çekildikten sonra fotogrametrik değerlendirme yazılımına fotoğraflar aktarılır. Fotoğrafları toplamak için kullanılan kameranın sensör boyutu ve odak uzaklığı yazılımın kitaplığından otomatik olarak tanımlanır. Kütüphane tarafından kullanılan nitelikler mevcut değilse, bunları manuel olarak tanımlamanız gerekecektir. Ardından görüntüleme sırası dikkate alınarak hizalama işlemi yapılır. Buradaki asıl amaç fotoğrafları sıralamak (Align model) ve bir ön model oluşturmaktır (Şekil 5).



Şekil 5. Ön dengeleme sonrasında oluşan seyrek nokta bulutu (Sol: Objekt 1 – Orta: Objekt 2 – Sağ: Objekt 3)

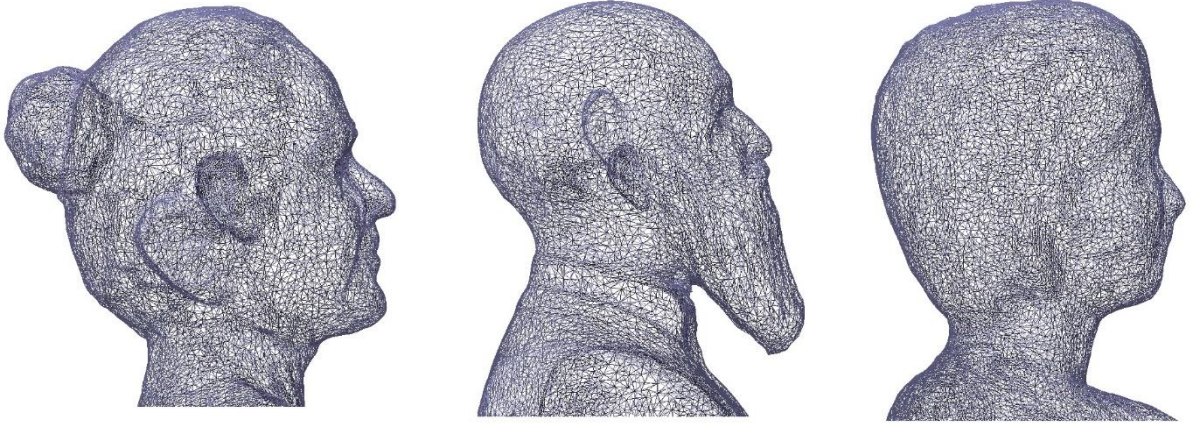
Yönlendirme/dengeleme sürecinden sonra yoğun nokta bulutları ve 3B modeller gibi dijital ürünlerin oluşturulması için yeni iş akışları tanımlanır [40-44]. Ön dengeleme aşamasında tüm objeler için daha doğru kamera konumu tahminleri elde etmek amacıyla en yüksek ayar seçilmiştir (Kaba kamera konumlarını daha kısa sürede elde etmek için daha düşük doğruluk ayarları kullanılabilir). En yüksek doğruluk ayarında yazılım orijinal boyuttaki fotoğraflarla çalışırken, orta ayar görüntünün 4 faktörü (her iki tarafta 2 kez) küçültülmesine neden olur, düşük doğrulukta kaynak dosyaların ölçeği 16 faktörü ile küçültülür ve en düşük değer 4 kat daha fazla küçültme anlamına gelmektedir. Çalışmada tercih edilen en yüksek doğruluk ayarı, görüntüyü 4 faktörü ile yükseltir. Bağlantı noktası konumları, kaynak görüntülerde bulunan özellik noktaları temelinde tahmin edildiğinden, bir bağlantı noktasını doğru bir şekilde lokalize etmek için bir kaynak fotoğrafı büyütme anlamlı olabilir. Bununla birlikte, En yüksek doğruluk ayarı yalnızca çok keskin görüntü verileri için ve ilgili işlemenin oldukça zaman alıcı

olması nedeniyle çoğunlukla araştırma amaçları için önerilmektedir. Ayrıca en yüksek seçeneği ile fotoğrafların bindirme oranı en düşük olan fotoğrafları da eşleştirirken, diğer alt seçeneklere doğru gidildikçe bindirme oranı yüksek olmayan fotoğraflar eşleştirilmez ve eşleştirilemeyen fotoğraflardan nokta üretilmez [45, 46]. Fotogrametrik değerlendirmede fotoğraf çekiminin önemi kadar yazılım ayarları da önem arz etmektedir. Çalışmada kullanılan yazılımda ve diğer tüm fotogrametrik yazılımlarda ön dengeleme ve iç yöneltme aşamasının en önemli ayarları anahtar nokta ve bağlantı noktası sınıridir. Anahtar nokta sayısı, mevcut işleme aşamasında dikkate alınacak her görüntüdeki özellik noktalarının üst sınırını gösterir. Sıfır değeri kullanmak, Metashape'in mümkün olduğu kadar çok anahtar nokta bulmasını sağlar, ancak çok sayıda daha az güvenilir nokta ile sonuçlanabilir. Çalışmada anahtar nokta sayısı sınırı olarak sıfır kullanılmıştır ve oluşturulan yoğun nokta bulutlarından gereksiz noktalar daha sonra temizlenmiştir. Bağlantı nokta sayısı ise, her görüntü için eşleşen noktaların üst sınırını gösterirken sıfır değeri kullanmak herhangi bir bağlantı noktası filtrelemesi uygulamaz ve çalışmada sıfır değeri tercih edilmiştir. Şekil 4'te gösterilen seyrek nokta bulutu oluşturulduktan sonra modeli ölçeklendirmek için yazılımın kendi üretmiş olduğu hedef işaretleri kullanılarak model ölçeklendirilmiştir. Ardından yoğun nokta bulutu oluşturmak için parametreler ayarlanmıştır. Yoğun nokta bulutu üretiminden en önemli parametre derinlik haritalarıdır ve bu parametre verinin istenen kalitesini belirtir. Daha ayrıntılı ve doğru geometri elde etmek için daha yüksek kalite ayarları kullanılmalıdır ancak bunların işlenmesi için daha uzun süre gerekir. Buradaki kalite parametrelerinin yorumu, Fotoğraf Hizalama bölümünde verilen doğruluk ayarlarına benzer. Tek fark: bu durumda Ultra Yüksek (Ultra High) Kalite ayarı, orijinal fotoğrafların işlenmesi anlamına gelirken sonraki her adım, ön görüntü boyutunun 4 kat (her iki tarafta 2 kez) küçültülmesini gerektirir. Çalışmada yoğun nokta bulutu için en yüksek ayar seçilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Her modele ait yoğun nokta bulutu (Sol: Obj 1 – Orta: Obj 2 – Sağ: Obj 3)

Yoğun nokta bulutu oluşturulduktan sonra yüzey morfolojisini temsil etmek için dijital bir araç olan düzensiz üçgen ağı (Triangulated Irregular Network/TIN) üretilmiştir. Şekil 7'de gösterilen düzensiz üçgen ağı ile; kenarları bitişik, örtüşmeyen üçgen yüzeyler oluşturur ve bir yüzeyde önemli bir rol oynayan doğrusal özelliklerin konumunu yakalamak için kullanılabilir. Örneğin sırt çizgileri veya akış yolları. Aşağıdaki grafikler bir modelin düğümlerini, kenarlarını ve yüzeylerini gösterebilmektedir.



Şekil 7. Her modele ait düzensiz üçgen ağı (Triangulated Irregular Network/TIN) (Sol: Obj 1 – Orta: Obj 2 – Sağ: Obj 3)

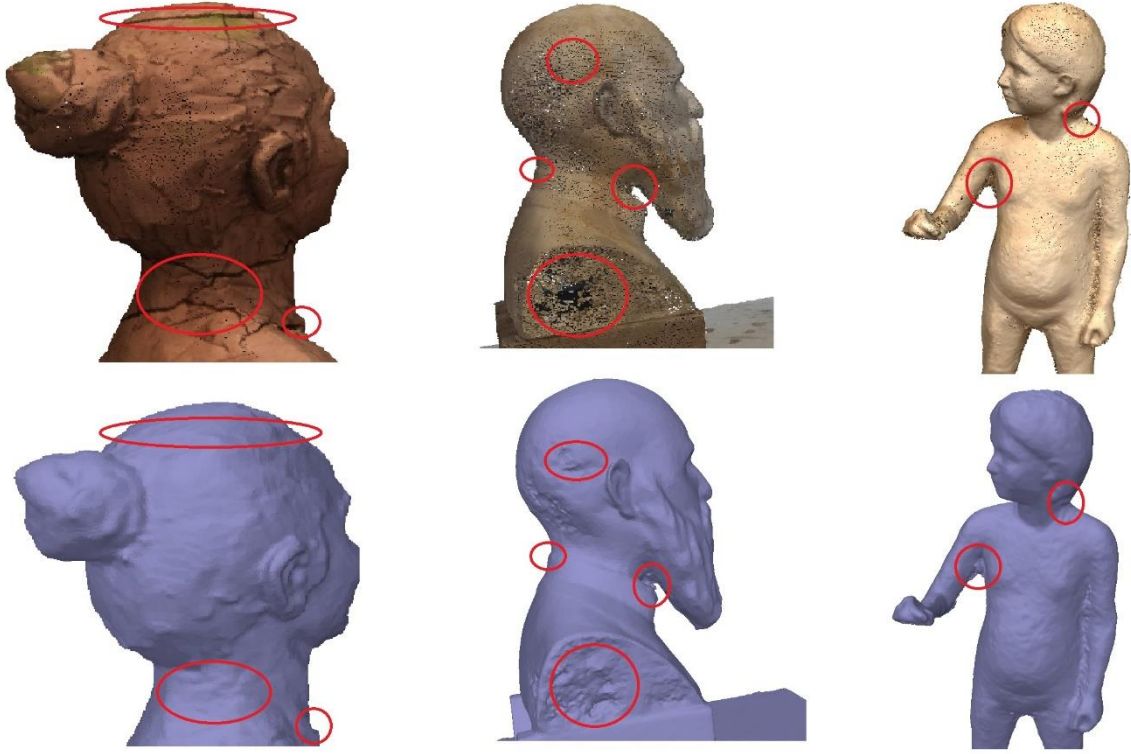
Çalışmada kullanılan üç obje için sonuç ürünlere ait istatistiki değerler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan objeler ait fotogrametrik değerlendirme istatistikleri

	Fotoğraf Sayısı	Seyrek Nokta Bulutu Sayısı	Yoğun Nokta Bulutu Sayısı	Yüzey/köşe Sayısı	Süre Fotoğraf Çekimi/Fotogrametrik değerlendirme (dakika)
Obj 1	98	54.875	431.596	107.213/53.716	12/28
Obj 2	78	41.898	335.037	59.823/30.171	8/30
Obj 3	108	75.878	483.598	180.000/90.126	14/34

Tablo 3 incelendiğinde üretilen yoğun nokta bulutlarının fotoğraf sayısı ile orantılı olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde oluşturulan yüzeyler yoğun nokta bulutundaki her noktanın birleşimi olduğu için gene paralellik göstermektedir. Her üç objeye ait çalışma, Intel® Xeon® CPU E5-2630 V3, 2.40 GHZ işlemcili 128 gb ram kapasiteli quadro p4000 ekran kartına sahip bir iş istasyonunda gerçekleştirilmiş olup fotogrametrik süreç fotoğraf sayısı ile entegreli olsa da obje 2'ye ait süre farklılık göstermiştir. Bunun sebebi diğer objelere kıyasla daha ayrıntıya sahip olması ve diğer objelerin obje 2'ye göre daha düzenli olması gösterilebilir.

Çalışmanın ana odak noktası olan dijital ikiz oluşturulmasında nokta bulutlarının kullanımında ise Şekil 8'de verilen yoğun nokta bulutları ile katı modeller arasındaki farkla incelendiğinde; nokta bulutlarında daha ayrıntılı gözükken birçok detayın katı modelde yumuşatıldığı ve gerçeklikten uzaklaştığı gözükmektedir. Ayrıca nokta bulutunda daha net gözükken kesiklikler ve derinlikler yine katı modelde yüzey doldurulmasında dolayı tam olarak algılanamamaktadır. Söz konusu kısımda oluşacak kaliteli bir düzensiz üçgen ağı (TIN) için nokta bulutlarının olabildiğince sık olması gerekmektedir. Yeterli sayıda oluşmayan nokta bulutlarının temsil ettiği kısımlar katı model oluşumunda algoritmalarından dolayı yumuşatmalar olabilmektedir. Bu sebepten dolayı aynı alan için nokta bulutundaki gösterim daha net olurken katı modeldeki gösterim gerçekliği tam olarak temsil edememektedir.



Şekil 8. Her modele ait yoğun nokta bulutu (üst), katı model (alt) (Sol: Obj 1 – Orta: Obj 2 – Sağ: Obj 3)

Bir dijital modeli tam ve eksiksiz temsil etmek için dijital ikiz üretmede gerekli veri şu anda en güncel olarak karşımıza fotogerçekçi modeller üretmemize sağlayan fotogrametri ve LiDAR veri toplama yöntemleri karşımıza çıkmaktadır. Diğer klasik dijital temsilleri oluşturulmasına imkan veren yöntemlere göre fotogrametri ve LiDAR yöntemlerinin yani nokta bulutu elde etme yöntemlerinin çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Her iki yöntemden de elde edilen nokta bulutları ile dijital temsil tam anlamıyla gerçekleştirilebilir. Nokta bulutu veri seti, binlerce noktadan oluşan bir çalışma alanının veya nesnenin dijital bir temsidir. Her ne kadar oldukça yoğun bir veri kümesi oluşması sonucu büyük veriler karşımıza çıksa da bu verilerin her biri geometrik bir koordinattır. Bu tek konumsal ölçümler kütesi bir araya gelerek 3B uzayda gerçekliği tam temsil eden ve gerçeğe bürünmüş bir model oluşturmaktadır. Bir nokta bulutundan; bir nesnenin derinliği, yüksekliği, geometrisi ve uzaydaki konumu hakkında gözlemler (ve ölçümler) yapılabilmektedir. Nokta bulutları, 3B lazer tarayıcılar kullanılarak oluşturulma eğilimindedir ve her nokta tek bir lazer tarama ölçümünü temsil etmektedir. Bunun yanı sıra fotogrametri yöntemi ile 2B fotoğraflardan nokta bulutları oluşturmakta dijital ikiz oluşturmada kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve LiDAR yöntemlerine alternatif olmaktadır. Elde edilen bu nokta bulutu verileri ile 3B ağlar oluşturulabilir. Bu ağ dokuları sayesinde nokta bulutundaki noktalar arasında küçük üçgenler oluşturulmakta ve daha sonra her noktanın orijinal fotoğrafının küçük bir bölümünü çıkarılarak binlerce üçgenin her biri için bir doku oluşturulur. Bu sayede gerçekliği tam ve eksiksiz temsil eden bir 3B ağ veya model sonuç olarak dijital ikiz olarak kullanılmaktadır. Oluşturulan bu dijital ikizler, kullanıcıların bir web tarayıcısında, bir tablette veya bir karma gerçeklik başlığıyla varlığın tamamını görselleştirmesine ve ayrıca durumu kontrol etmesine, analiz yapmasına ve tahmin ve optimizasyon için öngörüler oluşturmaya olanak tanımaktadır.

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, dijital ikiz oluşumunda nokta bulutunun önemi ve doğrudan kullanımının gerekliliği araştırılmış ve bu kapsamda üç adet düzensiz geometrik yapıya sahip karmaşık heykeller seçilmiştir. Çalışmanın başında irdelenen bazı sorulardan ortaya atılmış ve bunlardan ilki, bir dijital ikizi temsil etmek için doğrudan hangi nokta bulutu verilerinin kullanılabilirliği olmuştur. Çalışma sonunda dijital ikizi doğrudan temsil etmek için bir nokta bulutu ne ölçüde kullanılabilirliği tartışılmış olup özellikle Şekil 7 irdelendiğinde nokta bulutlarının önemi ve doğrudan kullanımı ön plana çıkmaktadır. Ayrıca bizim çalışmamızda olduğu gibi, Grasso ve ark. (2017) [5], Diaz- Vilariño ve ark. (2018) [45] ve Zhang ve ark. (2021) [46], nokta bulutlarının özelliklerini, onları gerçek dünyanın bir temsili olarak kullanıma uygun hale getirdiğini göstermektedir. Hem LiDAR hem de fotogrametri teknolojileri alanlarındaki teknolojik gelişmelerin öncülüğünde, nokta bulutlarının sunulabileceği hassasiyet, doğruluk ve detay büyük ölçüde artmıştır. Bulgular kısmında tartışıldığı gibi bir dijital ikizin gereksinimlerine

dayalı olarak bir dijital ikizin görsel bir temsil sağlaması, ek verilere erişim sağlaması, etkileşim ve sorgulama ile ilgili işlemlere izin vermesi ve belirli bir gerçeklik derecesini temsil etmesi gerekmektedir.

Bir nokta bulutunun nesnelere tam anlamıyla temsil etmesi için derinlik algısının iyi oluşturulması gerekmektedir. Çalışmada elde edilen veriler neticesinde özellikle derinlik algısının zor olduğu kısımlarda modellerin eksik olduğu gözlemlenmiştir. Bu noktada modelin derinliğini oluşturan eksenlerin tam temsili için gerekirse hassas ölçümler ile desteklenmelidir. Çalışma başında değinilen diğer bir soru olarak ise temsil sağlanan 3B verilerde oluşacak değişiklikleri tespit etmenin ve bu değişiklikleri dijital ikizde güncellenmenin pratik sonuçlarıyla ilgilidir. Dijital ikizi güncellemek için değişiklik tespiti ve frekanslarla ilgili pratik uygulamalar kısmında ise güncel bilgi ve standart kullanımı gibi gerçekliğin bir temsili sunmanın temel ilkelerinde yatmaktadır ve bu noktada hızlı ve düşük maliyetli veri toplamada SfM tabanlı fotogrametrik yazılımlar aracılığıyla üretilen nokta bulutları büyük avantaj sağlamaktadır.

Kullanıcıların bir dijital ikize güvenebilmesi için, dijital ikizin temeli olarak doğru veri ve bilgilerin kullanılması esastır. Ancak, bu her zaman böyle görünmeyebilir. Özellikle nesnelere büyük bir çoğunluğunun yükseklik bilgisini içeren verilerde eksiklikler bulunmaktadır. Bu eksikliklerine LiDAR gibi veri toplama yöntemleri ile desteklenmesi gerekmektedir. Ayrıca, dijital ikizin güncellenmesine ilişkin pratik çıkarımlar, ek verilerin entegrasyonu içinde yatmaktadır. Farklı veri kaynaklarının entegrasyonu ne kadar fazla olursa, bir şey değiştiğinde o kadar fazla veri güncellenebilmektedir. Diğer bir deyişle, dijital ikiz, veri entegrasyonu miktarı arttıkça ek veri kaynaklarına daha fazla bağımlı hale gelmekte ve dijital ikizde kullanımına ilişkin çıkarımlar, entegrasyon miktarı ile ilgili olmaktadır. Ayrıca dijital ikize ait kayıtların ise çelişkili bilgiler sağlamak yerine birbirini tamamlaması gerekmektedir.

Sonuç olarak gerçek dünyanın tam ve eksiksiz bir modeli doğru, hızlı bir veri toplama süreci ile bunun temsili olan dijital ikiz kavramında geçmektedir. Bir dijital ikiz geliştirmede ise LiDAR ve fotogrametri yöntemleri modelin tam temsili en iyi yansıtan yöntemlerdir. Elde edilen verilerin anlamlı hale getirilmesi ile ortaya çıkan dijital ikizin ise artırılmış gerçeklik gibi görselleştirme araçları ile kullanıcıya aktarılması analiz ve temsile önemli katkılar sunabilmektedir. Çalışmada çeşitli nokta bulutları toplama yöntemleri ve donanımları araştırılarak dijital ikizi en iyi temsil eden senaryolar oluşturulmuştur. Daha sonraki çalışmalarda elde edilen ürünler çeşitli görselleştirme araçları ile aktarılarak farklı kullanıcılara sunulacaktır. Çalışma sonunda elde edilen bulgular, gelecekteki dijital ikiz çalışmalarında en iyi temsil senaryolarının gelişmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Styliadis, A. D. (2008). Historical photography-based computer-aided architectural design: Demolished buildings information modeling with reverse engineering functionality. *Automation in construction*, 18(1), 51-69.
- [2] Boboc, R. G., Duguleană, M., Voinea, G. D., Postelnicu, C. C., Popovici, D. M., & Carrozzino, M. (2019). Mobile augmented reality for cultural heritage: Following the footsteps of Ovid among different locations in Europe. *Sustainability*, 11(4), 1167.
- [3] Carrión-Ruiz, B., Blanco-Pons, S., Weigert, A., Fai, S., & Lerma, J. L. (2019). Merging photogrammetry and augmented reality: The Canadian Library of Parliament. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2/W11), 367-371.
- [4] Che, E., Jung, J. & Olsen, M. (2019). Object Recognition, Segmentation, and Classification of Mobile Laser Scanning Point Clouds: A State of the Art Review. *Sensors*, 19(4).
- [5] Grasso, N., Verbree, E., Zlatanova, S., Piras, M. (2017). Strategies to evaluate the visibility along an indoor path in a point cloud representation. *International Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-2/W4, 311-317.
- [6] Kasser, M., & Egels, Y. (2002). *Digital photogrammetry*. 2nd ed.; Taylor & Francis: New York, NY, USA, 2004; ISBN 0203305957.
- [7] Korumaz, A. G., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelemesinde Dijital Yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 67-83.
- [8] Uslu, A., Polat, N., Toprak A. S., & Uysal, M. (2016). Kültürel Mirasın Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi Örneği. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8, 2, 165-176.
- [9] Şenol, H. İ., Polat, N., Kaya, Y., Memduhoğlu, A., & Ulukavak, M. (2021). Digital documentation of ancient stone carving in Şuayip City. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(1), 10-14.
- [10] Ulvi, A. (2022). Using UAV Photogrammetric Technique for Monitoring, Change Detection, and Analysis of Archeological Excavation Sites. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 15(3), 1-19.
- [11] Seyrek, E. C., Narin, Ö. G., & Eroğlu, M. M. (2022). Nokta Bulutu Üretiminde Cep Telefonu ve DSLR Fotoğraf Makinesi Kullanımının Araştırılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 23-29.
- [12] Erdoğan, A., Kabadayı, A., & Akın, E. S. (2021). Kültürel Mirasın Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi: Karabıyık Köprüsü Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3 (1), 23-27.

- [13] Uslu, A., & Uysal, M. (2017). Arkeolojik Eserlerin Fotogrametri Yöntemi İle 3 Boyutlu Modellenmesi: Demeter Heykeli Örneği. *Geomatik*, 2(2), 60-65.
- [14] Narin, Ö. G. (2021). Uygulama İmar Planlarında Mobil Artırılmış Gerçeklik Uygulaması Kullanımı. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(4), 875-880.
- [15] Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı Fotogrametrik Rölöve Alımı ve Üç Boyutlu Modelleme Çalışması. *Geomatik*, 2 (1), 11-17.
- [16] Şenol, H., Memduhoglu, A., & Ulukavak, M. (2020). Multi instrumental documentation and 3D modelling of an archaeological site: a case study in Kizilkoyun Necropolis Area. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11 (3), 1241-1250.
- [17] Kaçarlar, Z., & Hamal, S. N. G. (2021). Küçük Objelerin Üç Boyutlu (3B) Modellenmesinde Yersel Lazer Tarama (YLT) Tekniği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3 (2), 65-70.
- [18] Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2021). Tarihi Eserlerin 3B Modellenmesi ve Artırılmış Gerçeklik ile Görselleştirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 1032-1043.
- [19] Zeybek, M., & Kaya, A. (2020). Tarihi Yığma Kiliselerde Hasarların Fotogrametrik Ölçme Tekniğiyle İncelenmesi: Artvin Tibeti Kilisesi Örneği. *Geomatik*, 5 (1), 47-57.
- [20] Seyrek, E. C., Narin, Ö. G., Koçak, T. & Uysal, M. (2021). Yüzey araştırmalarında İHA fotogrametrisinin kullanımı: Kolankaya Siperleri örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(2), 69-75.
- [21] Pulat, F., Yakar, M. & Ulvi, A. (2022). Three-dimensional modeling of the Kubbe-i Hasiye Shrine with terrestrial photogrammetric method. *Cultural Heritage and Science*, 3(1), 6-11.
- [22] Polat, N., Önal, M., Kaya, Y., Memduhoğlu, A., Kaya, N., Ulukavak, M., Mutlu, S., & Mutlu, S. (2021). Harran Ören Yeri Kazısında Bulunan kabartma Yazıların Üç Boyutlu Olarak Modellenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 594-601.
- [23] Mırdan, O., & Yakar, M. (2017). Tarihi Eserlerin İnsansız Hava Aracı ile Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar. *Geomatik*, 2(3), 118-125.
- [24] Şenol, H. İ., Ernst, F. B., & Akdağ, S. (2018). Kentsel Dönüşüm Alanlarının Geotasarım Yöntemi ile Planlanması: Eyyübiye Örneği. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 63-69.
- [25] Şasi, A., & Yakar, M. (2018). Photogrammetric modelling of hasbey dar'ülhuffaz (masjid) using an unmanned aerial vehicle. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(1), 6-11.
- [26] Memduhoglu, A., Şenol, H. İ., Akdağ, S., & Ulukavak, M. (2020). 3D Map Experience for Youth with Virtual/Augmented Reality Applications. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(3), 175-182.
- [27] Kabadayı, A. (2022). Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4 (1), 19-23.
- [28] Hamal, S. N. G. (2022). Accuracy of digital maps produced from UAV images in rural areas. *Advanced UAV*, 2(1), 29-34.
- [29] Polat, N., & Kaya Y. (2021). Investigation of the Performance of Different Pixel-Based Classification Methods in Land Use/Land Cover (LULC) Determination. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 1-6.
- [30] Korumaz, A. G., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dijital Yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 67-83.
- [31] Fidan, D., Oruç, M. E., Hamal, S. N. G., & Fidan, Ş. (2022). Tersine Mühendislik Uygulamalarında Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Olanaklarının Araştırılması; Klasik Otomobiller Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(1), 1-10.
- [32] Pulat, F., Yakar, M., & Ulvi, A. (2022). Yersel Fotogrametrik Yöntem Kullanılarak Fotogrametrik Yazılımların Karşılaştırılması: Hüsrev Paşa Camii Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 30-40.
- [33] Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Experimental Techniques*, 35(1), 54-59.
- [34] Hamal, S. N. G., & Ulvi, A. (2020). Su Altı Fotogrametri Yöntemi ve Kullanım Alanı Üzerine Bir Literatür Araştırması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 60-71.
- [35] Thwaites, H. (2013). Digital Heritage: What Happens When We Digitize Everything? In *Visual Heritage in the Digital Age*; Ch'ng, E., Gaffney, V., Chapman, H., Eds.; Springer London: London, UK, 327-348.
- [36] Kaya, Y., Şenol, H. İ., & Polat, N. (2021). Three-dimensional modeling and drawings of stone column motifs in Harran Ruins. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3 (2), 48-52.
- [37] Van Krevelen, D. W. F., & Poelman, R. (2010). A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International journal of virtual reality*, 9(2), 1-20.
- [38] Wang, C., Cho, Y. K., & Kim, C. (2015). Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications. *Automation in Construction*, 56, 1-13.
- [39] Zhang, G., Verbree, E., Wang, X. (2021). An Approach to Map Visibility in The Built Environment from Airborne LiDAR Point Clouds. *IEEE Access* 9: 44150-44161 (2021).
- [40] Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Mersin Akyar Falez'i'nin 3B modeli. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2 (1), 5-9.

- [41] Hamal, S. N. G., Sarı, B., & Ulvi, A. (2020). Using of Hybrid Data Acquisition Techniques for Cultural Heritage a Case Study of Pompeiopolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 55-60.
- [42] Şenol, H. İ., & Kaya, Y. (2019). İnternet Tabanlı Veri Kullanımıyla Yerleşim Alanlarının Modellenmesi: Çiftlikköy Kampüsü Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 11-16.
- [43] Uzun, S. D., Hamal, S. N. G., & Fidan, Ş. (2022). Elde Taşınabilir Lazer Tarayıcılar ile İnsan Yüzünün Modellenerek Güzellik ve Bakım Sektöründe Kullanımının Değerlendirilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(1), 17-20.
- [44] Sarı, B., Hamal, S. N. G., & Ulvi, A. (2020). Documentation of complex structure using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry method and Terrestrial Laser Scanner (TLS). *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(2), 48-54.
- [45] Díaz-Vilariño, L., González-De Santos, L., Verbree, E., Michailidou, G., & Zlatanova, S., (2018). From point clouds to 3D isovists in indoor environments. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(4), 225-232.
- [46] Zhang, G., Verbree, E., & Wang, X. (2021). An Approach to Map Visibility in The Built Environment from Airborne LiDAR Point Clouds. *IEEE Access* 9: 44150-44161.
- [47] Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Mutluoğlu, Ö. (2010). Close range photogrammetry and robotic total station in volume calculation. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(2), 86-96.
- [48] Yılmaz, H. M., Yakar, M., Gulec, S. A., & Dulgerler, O. N. (2007). Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8(4), 428-433.
- [49] Kodde (2016). Dense Image Matching. *Gim International*. <https://www.gim-international.com/content/article/dense-image-matching-2>. Erişim Tarihi: 29.01.2023
- [50] Remondino, F., & Campana, S. (2014). 3D recording and modelling in archaeology and cultural heritage. *BAR international series*, 2598, 111-127.
- [51] Discher, S., Richter, R., & Döllner, J. (2019). Concepts and techniques for web-based visualization and processing of massive 3D point clouds with semantics. *Graphical Models*, 104, 101036.



Araştırma Makalesi - Research Article

Çelik Yapılarda Farklı Dolgu Duvar Tasarımlarının Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Deprem Analiz Yöntemleri ile Araştırılması

Investigation of Different Filling Wall Design in Steel Structures with Linear and Nonlinear Earthquake Analysis Methods

Muhammet Zeki Özyurt^{1*}, Ömer Faruk Kadioğlu²

Geliş / Received: 21/11/2022

Revize / Revised: 10/04/2023

Kabul / Accepted: 10/04/2023

ÖZ

Ülkemiz, önemli fay hatlarının üzerinde bulunmaktadır. Çeşitli parametreler açısından yapısal davranışın irdelenmesi yapıların deprem güvenliği için önemlidir. Sıkça tercih edilen taşıyıcı sistem türlerinden olan çelik yapıların davranışı üzerinde dolgu duvar etkisi bu çalışmada incelenmiştir. Uygulamada, dolgu duvarlar genellikle düşey yük olarak analizlere dahil edilirken, modele katılmadıkları için özellikle yatay yük altında yapısal davranış üzerindeki etkileri göz ardı edilmektedir. Bilindiği üzere; dolgu duvarların sayısal modele katılıp katılmamasının yapıların davranışı üzerinde olan etkisinin araştırılması yapı güvenliği açısından da önemli bir durum arz etmektedir. Çalışmada incelenen sayısal modeller SAP2000 programında üç boyutlu olarak analiz edilmiştir. Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile deprem etkisi altında yapısal davranış incelenmiş ve artırımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapı performansı araştırılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlar ışığında sayısal modelinde dolgu duvarların basınç çubuğu olarak dikkate alındığı durumda, dolgu duvarların yalnızca düşey yük olarak dikkate alındığı duruma göre periyot değerlerinin arttığı, tepe noktası deplasmanlarının azaldığı görülmüştür. Diğer taraftan, aynı incelemede basınç çubuğu olarak dolgu duvarın modele katıldığı durumda taban kesme kuvvetinin arttığı ve daha az deplasman ile plastik mafsallaşma noktasına ulaşıldığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler- Dolgu Duvar, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artırımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

ABSTRACT

Our country is located on important fault lines. Investigation of structural behavior in terms of various parameters is important for earthquake safety of structures. In this study, the effect of infill wall on the behavior of steel structures, which is one of the frequently preferred structural system types, is investigated. In practice, infill walls are usually included in the analysis as vertical loads, but their effects on the structural behavior, especially under horizontal loading, are ignored because they are not included in the model. As it is known, investigating the effect of the inclusion or exclusion of infill walls in the numerical model on the behavior of structures is also important in terms of structural safety. The numerical models examined in the study were analyzed in three dimensions in SAP2000 program. Structural behavior under earthquake effect was investigated by the equivalent seismic load method and the structural performance was investigated by the incremental equivalent seismic load method. In the

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ozyurt@sakarya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-1593-4581>)

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Sakarya, Türkiye

²İletişim: omer.kadioglu1@ogr.sakarya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-9838-349X>)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye

light of the results obtained from the analyses, it was observed that the period values increased and the peak displacements decreased when the infill walls were considered as pressure bars in the numerical model compared to the case where the infill walls were considered only as vertical load. On the other hand, in the same investigation, it was concluded that the base shear force increased, and the plastic hinge point was reached with less displacement when the infill wall was included in the model as a pressure bar.

Keywords- Infill Wall, Equivalent Earthquake Load Method, Pushover Method

I. GİRİŞ

Çelik yapı sistemleri, son yıllarda sık tercih edilen yapı türlerindedir. Hem yüksek açıklıklı yapıların tasarlanabilmesi, hem de sünek malzeme yapısından dolayı, deprem bölgelerinde tercih edilen önemli bir yapı sistemi haline gelmiştir. Çelik yapı sistemlerinin özellikle ofis kısımlarında sıkça kullanılan dolgu duvarların yapı sistemine etkisi bu çalışmada incelenmiştir. Dolgu duvarlar, mimari sebeplerden dolayı farklı tasarımlar ile yapılara uygulanmaktadır. Uygulama yapılırken dolgu duvarlar yapı modeline düşey yük olarak etki ettirilirken, yatay yük altında yapısal analizlere dahil edilmemektedir. Dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkisinin göz ardı edilmesi, deprem etkisi altındaki gerçek davranışının bilinmezliği anlamına gelmektedir. Bu çalışmada, çelik yapılarda dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Türkiye, deprem riski açısından dünyanın önde gelen ülkelerinden birisidir. 1992 yılında Erzincan, 1995 yılında Dinar, 1998 yılında Ceyhan, 1999 yılında Kocaeli ve Düzce, 2002 yılında Afyon, 2011 yılında Van depremleri ile çok sayıda can ve mal kaybı yaşanmıştır. Bu nedenle yapıların deprem performanslarının araştırılması ve deprem güvenliklerinin artırılması elzem bir durum haline gelmiştir. [1]

Geçmiş çalışmalar incelendiğinde, dolgu duvarların yapı performansına etkisinin incelendiği pek çok makale ve teze rastlanmaktadır. [2-5] Bu çalışmalara rağmen, halen dolgu duvarların yapıdan ayrı elemanlar olarak görülmesi ve çözümlerde göz önüne alınmamasının sebebinin yapının davranışına etkisinin tam olarak çözülememesinden kaynaklandığı göze çarpmaktadır. Dolgu duvarın yapı davranışına etkisinin genellikle doğrusal elastik yöntem ile araştırıldığı görülmektedir. Son yıllarda ise doğrusal olmayan çözümler ile de araştırılmasına ağırlık verilmiştir. Plandaki dolgu duvar düzensizliğinin bina deprem performansına etkisinin olup olmadığı konusundaki çalışmalar da yine az sayıdadır. Bu sebeple bu çalışmada, dolgu duvarın yapı hesabına basınç çubuğu olarak katılmasının yapı performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Oluşturulan binalara ait performans seviyeleri belirlenmiş ve dolgu duvar yerleşim parametrelerinin bina performansı üzerindeki etkisi tartışılmıştır. [6]

Bu çalışmada, çok katlı çelik bir işyeri yapısı incelenmiştir. Dolgu duvarın yapılarda sadece yük olarak tanımlanması ile dolgu duvar olarak modellenmesi arasındaki farklar incelenmiştir. Buna göre; her katta dolgu duvar kullanılan, hiçbir katında dolgu duvar kullanılmayan yapıların karşılaştırması yapılarak deprem etkisi altındaki performansları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, bu makalede dolgu duvar kullanılan çelik yapıların, dolgu duvar kullanılmayan yapılara göre yanal deplasmanının azaldığı sonucuna varılmıştır. Yapılar hesaplanırken dolgu duvarların hesabına katılmasının elzem olduğu sonucuna varılmıştır.

A. Literatür Özeti

Bayrak, O.F ve Bıkçe M. tarafından yapılan ‘Dolgu Duvarın Yapısal Düzensizliklere ve Performansa Etkisinin Mevcut Bir Yapı Üzerinde İncelenmesi’ başlıklı çalışmada, dolgu duvar etkisinin mevcut bir betonarme yapı üzerindeki etkisi incelenmiş ve yapı performansının artmasına karşın burulma ve yumuşak kat düzensizliklerinin değiştiği gözlemlenmiştir. 23.10.2019 tarihli çalışma, ‘Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi’ Cilt 24 Sayı 3’te yayımlanmıştır. [2]

Akyürek, O., Tekeli H. ve Demir F. Tarafından yapılan ‘Plandaki Dolgu Duvar Yerleşiminin Bina Performansı Üzerine Etkisi’ başlıklı makalede, dolgu duvarın davranışına ve deprem performansına olan etkisi, doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Makalenin sonucuna göre, betonarme yapılarda yerleştirilen dolgu duvarların çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini önemli derecede artırdığı gözlemlenmiştir. 04.09.2017 tarihli çalışma, ‘Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi’ Cilt 10 Sayı 1’de yayımlanmıştır. [6]

Bayrak, O.F., Yedek S., Erdem M.M. ve Bıkçe M. tarafından yapılan ‘Çelik Çerçevesel Yapılar Üzerinde Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi’ başlıklı çalışmada, gevrek dolgu duvar malzemesi kullanılarak yapılmış çelik yapılar incelenmiş, bölme duvarlar üzerinde zaman içinde yatay deprem kuvveti, oturma vs. nedenlerle yapısal olmayan elemanlarda meydana gelen çatlaklara dikkat çekilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre, çelik yapılara uygun bölme duvar malzemelerinin yaygınlaşması gerektiği gözlemlenmiştir. 2019 tarihli çalışma, Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu’nda yayımlanmıştır. [7]

Sayın, B. ve Kaplan S.A., tarafından yapılan ‘Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Yapılarda Dolgu Duvarın Modellenme Teknikleri’ başlıklı çalışmada, dolgu duvarlar, Sap2000 ve Sta4cad programlarında diagonal basınç çubuğu ve panel olarak modellenmiştir. Sonuçlar gerçeğe yakın olarak gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, dolgu duvar, diagonal basınç çubuğu şeklinde modellenerek yatay yük etkisine maruz bırakıldığında daha rijit davrandığı gözlemlenmiştir. 25.03.2005 tarihli çalışma, Kocaeli Deprem Sempozyumu’nda yayımlanmıştır. [8]

Kaymak F. ve Tuna M.E. tarafından yapılan ‘Kısmi ve Tam Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Yatay Yükler Altındaki Davranışının Elasto-Plastik Analiz Yöntemi ile İncelenmesi’ başlıklı çalışmada, dolgu duvarların yatay yükler altındaki çelik çerçeveler üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, dolgu duvarların boş çerçeveye göre daha az enerji tükettiği gözlemlenmiştir. 25.03.2011 tarihli çalışma, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 26 Sayfa 2’de yayımlanmıştır. [9]

Güder O.S. tarafından yapılan ‘Dolgu Duvarların Yapısal Analizlerde Göz Önüne Alınmasının Düşey Düzensizlik ve Deprem Performansına Etkileri’ başlıklı yüksek lisans tezinde, dolgu duvarların analiz modeline dahil edilmesi durumunda yapının düşey düzensizliğinin ve binanın yapısal performansının nasıl etkileyeceği incelenmiş, yumuşak kat düzensizliğinin yapının performansına etkilerine değinilmiştir. 24.01.2012 tarihinde savunması yapılan bu tez, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nce onaylanmıştır. [10]

Altınağaç D. Tarafından yapılan ‘Doğrusal Olmayan İtme Analizi Yöntemi ile Performans Seviyesi Belirlenen Çelik Bir Yapının Analizi’ başlıklı yüksek lisans tezinde, doğrusal olmayan itme analiz yöntemi ile dört farklı şekilde yatay etkilere karşı güçlendirilmiş çelik çerçeve sistemi doğrusal olmayan statik tasarım yöntemi ve ETABS yapısal analiz programı ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ideal çapraz sistemi seçilmiş ve değerlendirilmiştir. Sonuç olarak Merkezi V çaprazlı sistemlerin enerji sönümleme kapasitesinin diğer çapraz sistemlerine göre %50 daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. 07.06.2022 tarihli çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nce onaylanmıştır. [11]

Karshoğlu Ö. Tarafından yapılan ‘Çok Katlı Binalarda Bulunan Tuğla Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkileri’ başlıklı yüksek lisans tezinde, dolgu duvarların deprem etkisi altındaki performansı araştırılmıştır. Çelik bir sistem, SAP2000 programında hesaplanarak periyot, deplasman, taban kesme kuvveti, düzensizlik gibi etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak dolgu duvarların malzeme özelliklerinin hesabının iyi yapılması ve lineer olmayan dinamik analiz yönteminin tercih edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu tez çalışması, 27.09.2005 tarihinde Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nce oy birliği ile onaylanmıştır. [12]

Asfuroğlu. S. Tarafından yazılan ‘Çok Katlı Çelik Binaların İtme Analizi’ isimli yüksek lisans tezinde, çok katlı çelik bir binaya nonlinear analiz yapılarak çalışma sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak farklı yönetmeliklerdeki kabullerden dolayı taban kesme kuvvetleri arasında farklar tespit edilmiştir. Bu tez çalışması, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nce onaylanmıştır. [13]

II. DOLGU DUVAR

Yapı sistemlerinin çözümü yapılırken, dolgu duvarların etkisi hesaba katılmayan parametrelerdir. Bunun nedeni, dolgu duvarların yanal yük geldiğindeki etkisinin ihmal edilmesinin istenmesidir. Yönetmelikler, dolgu duvarların düşey yük etkisinin hesaba katılmasını ancak dolgu duvarların yanal katkısının ihmal edilmesini tavsiye etmektedir. Literatürde, betonarme yapılarda dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışı üzerindeki etkisi ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmakla birlikte, çelik yapılarda dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışı üzerindeki etkileri ile ilgili az sayıda çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada, çelik yapılarda dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Dolgu duvarlar, yapı sistemine iki şekilde tanımlanabilirler. Sonlu elemanlar yönteminde bu tipler mikro modelleme veya makro modelleme şeklinde tanımlanmaktadır. Bu çalışmada çapraz çubuklarla canlandırılan makro modelleme yöntemi kullanılmıştır.

A. Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Olan Etkileri

Dolgu duvarların, yapı ile etkileşimi sırasında olumlu veya olumsuz yönde yapıya katkısı olabilmektedir. Bu etkilerden olumlu olanlar, yapı sistemini güvenli bölgede tutabilmek adına ihmal edilmektedir. Fakat dolgu duvar etkisi hesaba katılmadığı için olumsuz etkisinin nasıl bir etki sağladığı bilinmemektedir.

B. Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Olan Olumlu Etkileri

a) *Düşey Yüklere Karşı Etkileri:* Kiriş altlarına gelen dolgu duvarların olduğu kirişlerin, dolgu duvar olmayan kirişlere nazaran daha az sehim yaptığı gözlemlenmektedir. Özellikle eğilme momenti bölgelerinde ve mesnet bölgelerinde betonarme yapılarda çatlaklar gözlemlenmiştir. [14]

b) *Yatay Yüklere Karşı Etkileri:* Yapıya gelecek olan rüzgar deprem gibi yanal kuvvetler karşısında dolgu duvarlar taşıma kapasitesine ulaşana kadar çelik çapraz gibi çalıştığı belirlenmiştir. Bu sayede yapıda yükün geldiği yönde ötelemelerini azalttığı gözlemlenmiştir. [14]

c) *Rijitliğe Katkıları:* Dolgu duvarlar, b maddesinde belirtildiği üzere yatay yüklere karşı katkı sağlamaktadır. Bu özelliği ile kat ötelemelerini azaltarak yapı rijitliğini artırır. Rijitliğe olan katkıları göz önüne almadan yapılan hesaplar ile yapı katkısının gözlemlendiği hesaplar arasında önemli farklar vardır.

d) *Enerji Sönümlemeye Katkıları:* Yapılara gelen deprem kuvvetlerinden dolayı oluşan enerji, özellikle mesnet bölgelerindeki zorlanmalardan dolayı bu bölgeleri zorlamaktadır. Bu birleşim bölgelerinde dolgu duvar olmasının, dolgu duvarın kendi içinde oluşan çatlaklar sayesinde önemli etkide enerji sönümlediği gözlemlenmiştir. Büyük depremlerdeki etkisi çok büyük olmamakla beraber ve küçük ve orta şiddetli depremlerde tahribat olmasını engellediği söylenebilir. [10]

C. Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Olan Olumsuz Etkileri

a) *Burulma Etkileri:* Mimari nedenlerden dolayı planda düzensiz yerleştirilen dolgu duvarlar, yapının ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi arasında eksantrisiteye neden olabilmektedir. Bu nedenle yapıda dolgu duvar olması öngörülemez burulma etkileri yaratabilir.

b) *Zayıf Kat Etkileri:* Dolgu duvarlar, mimari sebeplerden dolayı üst kat ile alt kat arasında çok farklı duvar düzenlemeleri olması durumunda zayıf kat düzensizliğine neden olabilmektedir.

c) *Yumuşak Kat Etkileri:* Genellikle zemin katlarında işyeri olan yapılarda gözlemlenen bu durum, belirli katlarda dolgu duvarın yoğun olarak kullanılması diğer katlarda daha az kullanılması ile yapının rijitliğinde dengesizlik olması ile meydana gelmektedir. Üst katlardaki rijitliği karşılayabilmek adına duvar olmayan zemin kat kolonlarının yüksek enerji tüketmesi ile yapıda ciddi hasarlar meydana getirmektedir. Dolgu duvarlar, yapı analizinde yok sayıldığı için bu durumun oluşması da öngörülemez olur.

d) *Kısa Kolon Etkileri:* Mimari sebeplerden dolayı dolgu duvarlar, kat yüksekliği boyunca devam ettirilmeyerek boşluk bırakılması sebebiyle, kolon üst ve alt ucunda olması beklenen ve buna göre tasarlanan yapıda beklenmedik plastik mafsalların oluşması durumudur. Momentlere bağlı dönme etkisi ile oluşan bu durumun yanında kolonların tasarlandıkları maksimum kuvvetten daha büyük kesme kuvvetlerine maruz kalmalarına sebep olmaktadır. [10]

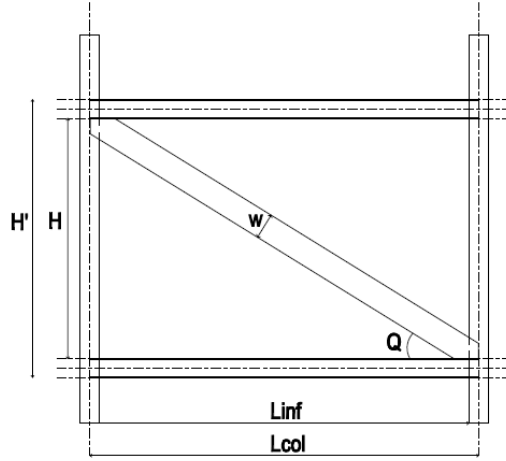
D. Dolgu Duvar Hesabı

Dolgu duvarlar, her ne kadar yapısal analiz programında ihmal edilse de özellikle çok katlı yapılarda yanal dinamik kuvvetlere karşı önemli katkı sağlamaktadır. Uzun yıllardır yapılan çalışmalar, bu verileri desteklemektedir.

Çelik çerçeve sistemlerde, çerçeve arasında kullanılan dolgu duvarların çelik çapraz benzeri bir davranış sergilemesi nedeniyle çerçevelerde rijitlik sağladığı gözlemlenmiştir. Bu durumu analiz programına anlatmanın en kolay yolu ise dolgu duvarları basınç çubuğu şeklinde göstermektir.

Dolgu duvarların rijitliğe katkıları inceleyen çalışmalardan başlıcası Mainstone modelidir. [8]. Bu çalışmada, Mainstone modeli kullanılmıştır. İlgili model, dolgu duvar çalışmasında en sık kullanılan yöntemdir. Mainstone modeline göre, modellerin test edilmesi sırasında, duvar merkezlerinde diagonal çatlaklar tespit edilmiş, modelin karşılıklı çapraz yüklenmemiş köşelerinde çerçeve ile dolgu duvar arasında boşluklar oluşmuş, yüklenmiş iki köşede de tam bir temas gözlemlenmiştir.

Mainstone modeli hesaplanırken dolgu duvar, iki ucu mafsallı bir basınç çubuğu olarak analiz programına anlatılmaktadır. Bu çubukların rijitliği, bağlandıkları çerçevenin elastisite modülünün azaltma katsayısı ve etkin duvar genişliği parametreleri üzerinden modellenir. Modellenen kesitlerin dayanımları ise kullanılan malzemenin daha önce laboratuvar şartlarında yapılmış mukavemet deneyleri sonuçlarından alınır. Şekil 1'de, eşdeğer basınç çubuğu modeli gösterilmektedir.



Şekil 1. Eşdeğer Basınç Çubuğu Modeli (Equivalent Compression Bar Model) [16]

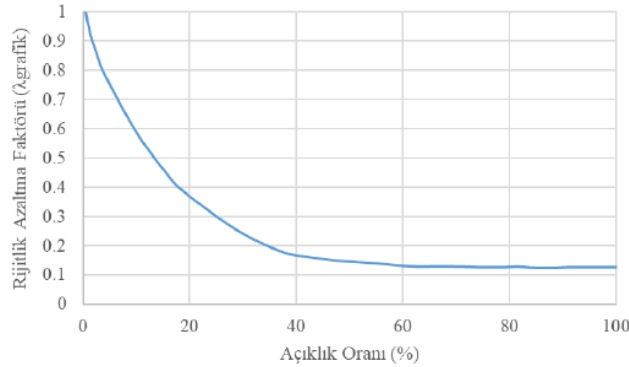
- Λ_h = Görelî rijitlik parametresi
- w = Rijitlik parametresi
- E_z = Dolgu duvarın elastisite modülü
- E_b = Çerçevenin elastisite modülü
- t = Dolgu duvarın kalınlığı
- I_s = Kolonların atalet momenti
- H = Dolgu duvarın yüksekliği
- Q = Açık
- d_z = Eşdeğer basınç çubuğu uzunluğu
- k_{duvar} = Köşegen basınç elemanının aksel rijitliği

Çalışmada, FEMA 306'da [15] önerilen ve Mainstone'un [16] çalışmalarından elde edilen eşitlikler kullanılmıştır. Buna göre:

$$\Lambda_{duvar} = \sqrt[4]{\frac{E_z \cdot t \cdot \sin 2Q}{4 \cdot E_b \cdot I_s \cdot H}} \quad (1)$$

$$k_{duvar} = \frac{w \cdot \Lambda_{duvar} \cdot t \cdot E_z}{d_z} \quad (2)$$

Asteris'in 2003 yılında yaptığı çalışmada, mimari sebeplerden dolayı yapıda bırakılan boşlukların yapı dayanımını ne ölçüde etkilediği belirlenmelidir. Buna göre; dolgu duvarda bırakılan boşluk yüzdesi (boşluk alanı/dolgu duvar alanı) bağı olarak bir rijitlik azaltma faktörü (Λ_{grafik}) şeklinde önermiştir. w rijitlik parametresi ile rijitlik azaltma faktörü ile çarpılması, duvar boşluğu ile ilgili yaygın kullanılan bir yöntemdir. Şekil2'deki grafikte, açıklık oranı ile rijitlik azaltma faktörü arasındaki ilişki belirtilmiştir. [15]



Şekil 2. Açıklık Oranı İle Rijitlik Azaltma Faktörü Arasındaki İlişki [15]

E. Dolgu Duvarın Sap2000 Programında Tanımlanması

Dolgu duvar basınç çubuğu modeli, SAP2000 programına aşağıdaki şekilde tanımlanır:

- Araç çubuğu kısmından material tanımlanır. 'Define-Material' butonuna basılır.

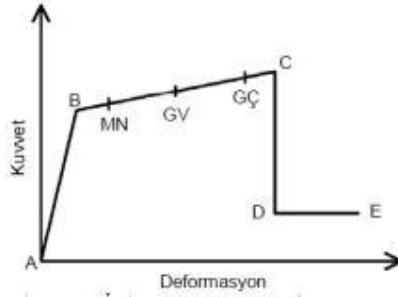
- b) 'Add New Material' butonuna basılarak 'Material Property Data' sayfası açılır. Bu sayfada tanımlamak istenen materialin ismi ve mekanik özellikleri girilir. Malzemenin elastisite modülü, poisson oranı, genleşme katsayısı değerleri girilir.
- c) Material tanımlaması yapıldıktan sonra kesit tanımlaması yapılır. 'Define- Section Properties-Frame Sections' butonlarına sırası ile basılır. Burada çıkan sayfada 'Rectangular Section' sayfası seçilir.
- d) 'Section Name' kısmına kesite ne isim vermek istenir ise yazılır. Eş değer basınç çubuğu sonuçlarında çıkan duvar derinliği ve duvar genişliği değerlerine göre 'Depth ve Width' değerleri girilir ve bu sayfadan da çıkılır.
- e) Malzeme tanımlaması sonrasında programın solunda yer alan 'Draw Frame/Cable' butonuna basılarak eş değer basınç çubuğu modeli çerçeveye çizilir.

III. HESAP YÖNTEMLERİ

A. Artırımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminde Kesit Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi

Bina performans değerlendirmesi yapılırken, yapının deprem etkisi altındaki performansının yanı sıra yapıda oluşan hasar, ekonomik etkisi ve yapının sonraki kullanım durumu ile bütün olarak düşünülür. Deprem sonrası yapılarda olacak hasara ve yapının önem katsayısına göre sınıflandırmalar yapılmıştır. Yapıların sınıflandırması yapılırken MN, GV, GÇ performans seviyeleri kullanılır. Şekil 2.18'de, kesit hasar seviyelerini gösteren kuvvet deformasyon tablosu belirtilmiştir.[3]

Doğrusal olmayan yöntemlerde amaç, binanın doğrusal olmayan davranışını yansıtan bir model üzerinde, deprem yönetmeliklerinde belirlenen kriterlere uygun olarak, talep noktasındaki kesit değerlerinin ve doğrusal olmayan davranış istemlerinin hesaplanmasıdır. [17]



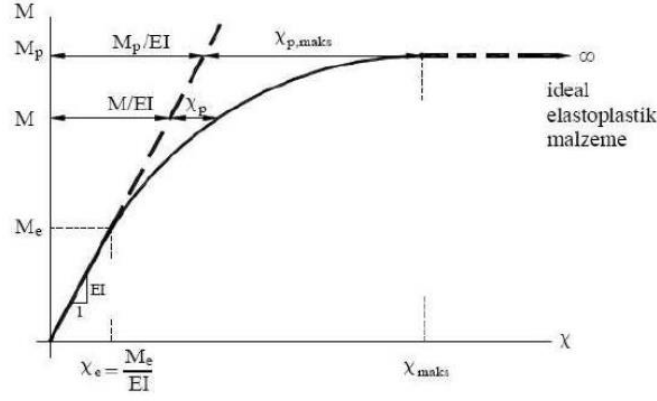
Şekil 3. Kesit Hasar Seviyeleri [5]

- a) MN: 'Minimum Güvenlik Sınırı' Kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcı. [5]
- b) GV: 'Güvenlik Sınırı' Kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranış sınırı. [5]
- c) GÇ: 'Göçme Sınırı' Kesitin göçme öncesi davranış sınırı. [5]

B. Plastik Mafsal Kabulü

Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal elastik şekil değiştirmeye oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilir. Bu hipoteze plastik mafsal hipotezi adı verilir. [18]

Gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 4'te verilen düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait momenti diyagramını gösterilmektedir. [18]

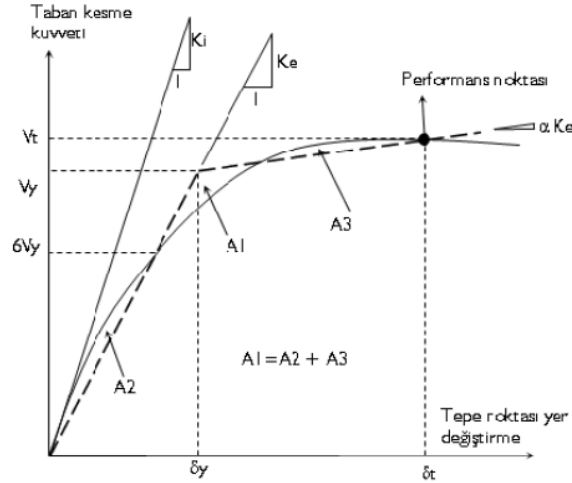


Şekil 4. Düzlem Çubuk Elemanın Eğilme Momenti-Eğrilik Diyagramı [18]

C. Hedef Tepe Yer Değiştirmenin Bulunması

Hesap edilen yapının deprem esnasında yapacağı maksimum deplasman davranışının tahminidir. FEMA yöntemi, deplasman talebinin karşılanması için nümerik çözüm sağlamaktadır. Performans noktasının hesabında, kapasite eğrisi iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilir. Bu doğrulardan birincisinin eğimi (K_e), ikincisinin eğimi ise elastoplastik (K_s) rijitliği temsil eder. [19]

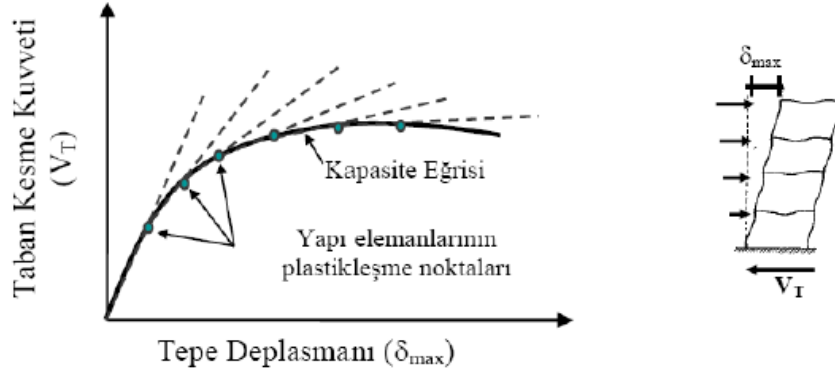
İdealleştirme yapılırken, gerçek idealleştirilmiş kapasite diyagramları altında kalan alanların eşit olmasına dikkat edilir. Ayrıca K_e eğimli doğrunun kapasite eğrisinin kesiştiği noktanın ordinatının K_e ve K_s eğimli doğruların kesiştiği noktanın ordinatının 0.6 katı olması koşulu sağlanır. Bu durum, Şekil 5'te gösterilmiştir. [19, 20]



Şekil 5. Performans Noktasının Hesabı [19]

D. Kapasite Eğrisinin Belirlenmesi

Yapının kapasite eğrisini elde etmek için yapı, sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalarak artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre hesaplanarak limit duruma ulaşıncaya kadar izlenir. Her yük değeri için toplam taban kesme kuvveti (V_t) ve buna karşılık gelen en üst kat yatay deplasmanı (tepe deplasmanı) arasındaki grafik çizilir. Bu durum, Şekil 6'da ifade edilmiştir. [18]



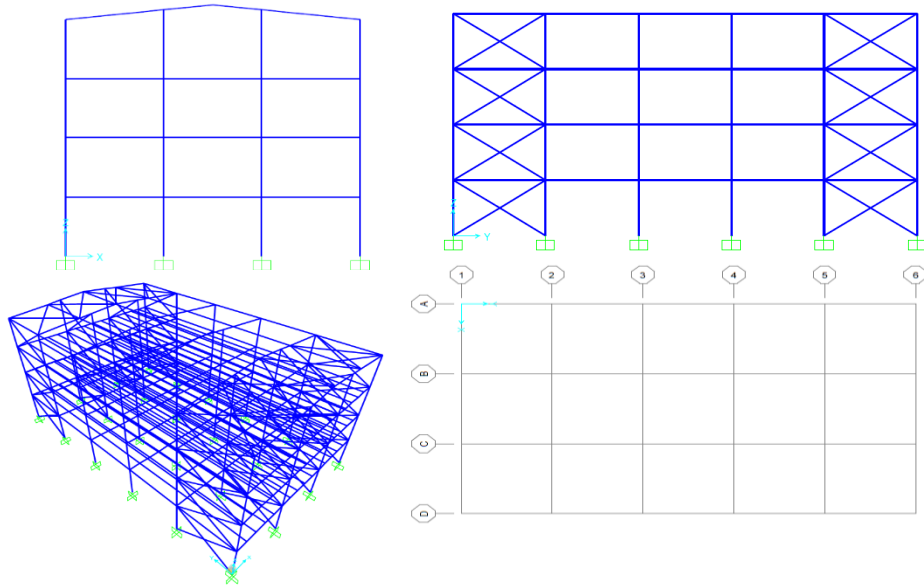
Şekil 6. Lineer Olmayan Teori İle Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi [18]

Malzemelerdeki plastik şekil değiştirmeler, plastik kesit bölgelerinde yoğunlaşmakta ve bunun dışındaki bölgelerde lineer-elastik olduğu kabul edilmektedir. Kirişler, plastikleşirken yalnızca eğilme momenti ile ortaya çıktığı, kolonların ise eğilme momenti ve normal kuvvet ile meydana geldiği kabul edilmektedir. [18]

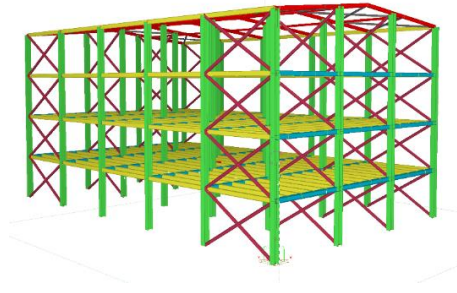
FEMA 356'da önerilen değerler esas alınarak moment-plastik dönme bağıntısı pekleşen rijit davranış olarak kabul edilmiştir. [18]

IV. SAYISAL ÇALIŞMA

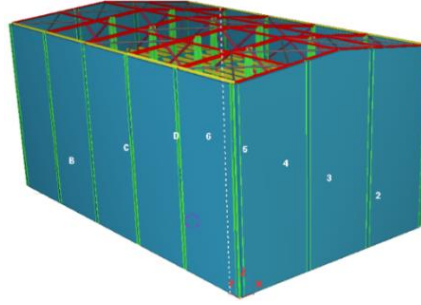
Bu araştırmada, tamamı dolgu duvarlı ve tamamı dolgu duvarsız iki yapı incelenmiştir. Bu iki tip, konstrüktif olarak aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Sadece baş ve son aksında çapraz sistemi vardır. Kat yüksekliği tüm katlarda 3m'dir. Herbir kolon arası, X yönünde ve Y yönünde olmak üzere 5 metredir (Şekil 3). Çatı eğimi %10 olacak şekilde tasarlanmıştır. Rüzgar ve kar yükleri, yapı konumunun Sakarya'nın Akyazı İlçesi için bölge değerleri elde edilerek hesaplanmış ve TS498 esaslarına göre yük hesapları yapılmıştır. Zemin parametreleri, yine Sakarya'nın Akyazı İlçesinde yapılmış olan bir zemin etüdü baz alınarak belirlenmiştir. Bu zemin değerleri, Türkiye Deprem Tehlike Haritası [21] verileri ile teyid edilmiştir. Çalışmada, dolgu duvarları sadece duvar yükü olarak göz önünde bulundurulup modele katılmayan yapı tipi A, dolgu duvarları iki ucu mafsallı bir basınç çubuğu olarak modele katılan yapı tipi ise B olarak adlandırılmıştır (Şekil 4 ve Şekil 5). Çalışmada dolgu duvar olarak YTONG kullanılmıştır.



Şekil 7. Çalışmada İncelenen Yapı Tiplerinin Plan ve Kesitleri



Şekil 8. A Tipi Yapının Üç Boyutlu Bilgisayar Modeli



Şekil 9. B Tipi Yapının Üç Boyutlu Bilgisayar Modeli

A. Çalışmanın Sabitleri

Yapılar, 15 m-25 m olacak şekilde tasarlanmıştır. İki yapı da çelik olacak şekilde hesap yapılmıştır. Her katta 0.7 mm deck trapez, 10 cm beton olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Yapı kesitlerinde de görülebileceği üzere 3 kat ve çatı olacak şekilde tasarlanmıştır. İki yapının da tüm taşıyıcıları araştırmanın esası dolgu duvarın yapı davranışına olan etkisinin araştırılması olması sebebiyle sabit tutulmuştur. Buna göre kolonlar HEA340, kat kirişleri HEA240, kat tali kirişleri IPE240, çatı makasları IPE200, cephe çaprazları CHS168*6, çatı çaprazları CHS114*5, çatı stabilitesi CHS139*4 profiller kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan sabitler aşağıda belirtilmiştir.

a) Binaların kullanım alanı	:	375 m ²
b) Binaların kullanım amacı	:	İşyeri-Fabrika
c) Eleman tipi	:	Çelik (S275)
d) Çelik elastisite modülü	:	200000 Mpa
e) Kar yükü	:	75 kg/m ²
f) Rüzgar yükü	:	80 kg/m ²
g) KaplamaYükü (Aşık+Sandviç Panel)	:	35 kg/m ²
h) Deprem yer hareketi düzeyi	:	DD-2
i) Yerel zemin sınıfı	:	ZD
j) Yatay elastik tasarım spektrumu	:	T(A)=0,099(s), T(B)=0,494(s)
a. T(B)=0,494(s)	:	
k) Bina önem katsayısı	:	1
l) Bina kullanım sınıfı	:	BKS=3
m) Bina yükseklik sınıfı	:	BYS=6
n) Deprem Tasarım Sınıfı	:	1
o) Zemin taşıma gücü değeri	:	qt:20 t/m ²
p) Yük kombinasyonları	:	TBDY2018 Kombinasyonları
q) Sismik katsayılar	:	S _s =1,751, S ₁ =0,47, PGA=0,712, PGV=55,090, S _{DS} =1,751, S _{D1} =0,864
r) Kullanılan Yönetmelik	:	TBDY2018 [22]
s) Süneklik Düzeyi	:	Yüksek
t) Deprem Yükü Azaltma Katsayısı	:	4
u) Dolgu Duvar Cinsi	:	YTONG

B. Çalışmanın Değişkenleri

Bu araştırmanın amacı, dolgu duvarların yapı performansına etkisinin hesap modellerine etkilmesi gerektiğinin önemini belirlemektir. Bu sebeple çalışmada yalnızca dolgu duvarın olup olmaması durumu değişkenlik göstermektedir.

V. SAYISAL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Tablo 1 ve Tablo 2’de yapılan hesaplar sonucunda A tipi ve B tipi yapıların ağırlık merkezi için elde edilen koordinatlar metre olarak verilmiştir. Dolgu duvarın olup olmaması durumunun yapı ağırlık merkezini, buna bağlı olarak taban kesme kuvvetini ne denli etkilediğinin bulunabilmesi amacı ile ağırlık merkezi hesabı yapılmıştır.

Tablo 1. A Tipi Yapı Ağırlık Merkezi Tablosu

Kat	X (m)	Y (m)	Z (m)
3	7.5	12.50	9
2	7.5	12.50	6
1	7.5	12.50	3

Tablo 2. B Tipi Yapı Ağırlık Merkezi Tablosu

Kat	X (m)	Y (m)	Z (m)
3	7.48	12.49	9
2	7.5	12.50	6
1	7.5	12.49	3

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılan analizlerin neticesinde elde edilen görel kat ötelemelerine ait sonuçlar aşağıdaki tablolarda (Tablo 3 ve Tablo 4) verilmiştir.

Tablo 3. A Tipi Yapı Görel Kat Ötelemeleri Tablosu

Kat	Deprem Yönü	Deplasman (mm)
1	X	6.51
1	Y	0.58
2	X	10.65
2	Y	0.71
3	X	8.98
3	Y	0.52

Tablo 4. B Tipi Yapı Görel Kat Ötelemeleri Tablosu

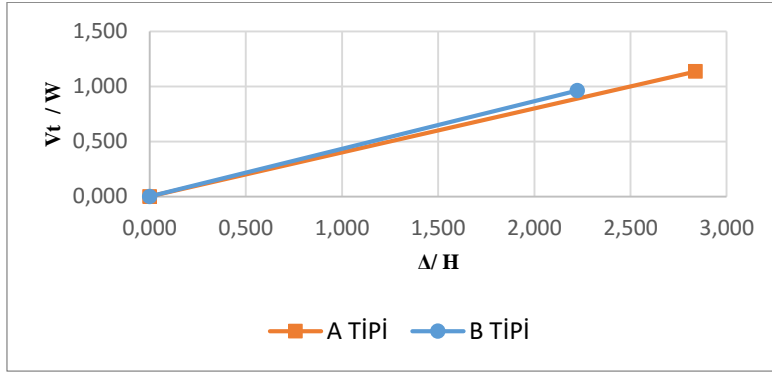
Kat	Deprem Yönü	Deplasman (mm)
1	X	5.67
1	Y	0.41
2	X	8.03
2	Y	0.48
3	X	5.98
3	Y	0.34

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen Taban Kesme Kuvveti (V_t) Tepe Noktası Yer değıştirmesi (Δ), Yapı Toplam Ağırlığı (W) ve Periyot (T) değıerleri Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle Elde Edilen Analiz Sonuçları

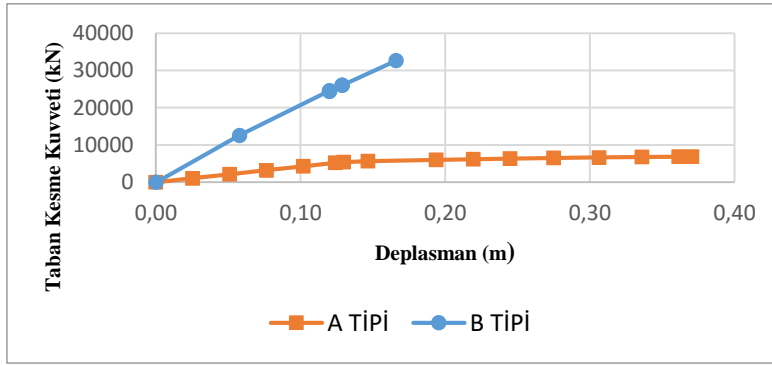
Yapı Tipi	η_{bi}	V_{tx} (kN)	V_{ty} (kN)	Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	W (kN)	T (sn)
A	1	1099.71	3580.20	34.05	14.03	968,14	0.678
B	1	1527.34	3871.79	26,69	13,61	1585,54	0.527

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen kapasite grafiğı Şekil 10'da verilmiştir. Taban Kesme Kuvveti (V_t) / Yapı Toplam Ağırlığı (W)-Tepe Noktası Yer değıştirmesi (Δ) / Toplam Yapı Yüksekliğı parametreleri karşılaştırılmıştır.

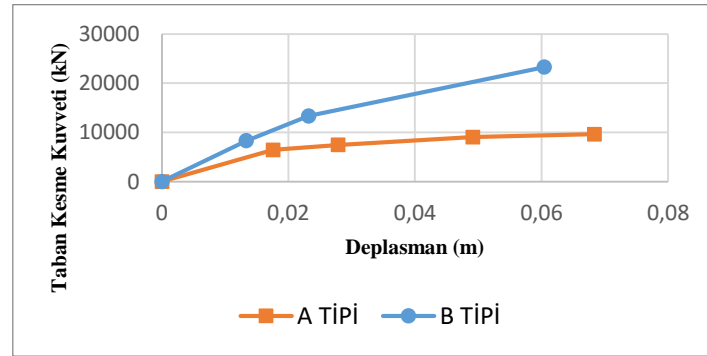


Şekil 10. Eşdeğer Deprem Yüğü X Yönu Kesme Kuvveti-Taşıma Kapasitesi Grafiğı

Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak yapılan analizlerden elde edilen Taban Kesme Kuvveti (V_t) Tepe Noktası Yer değıştirmesi değıerleri X ve Y yönu için Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 11. Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Analizi -Taban Kesme Kuvveti-Deplasman (X Yönu)



Şekil 12. Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Analizi -Taban Kesme Kuvveti-Deplasman (Y Yönu)

Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Analiz Yöntemi ile belirlenen plastik mafsallaşma adımları ve hasar yüzdelerinin olduğı tablolar (Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9) aşağıda belirtilmiştir.

. **Tablo 6.** A Tipi Modelde X Yönünde Deprem İçin Plastik Mafsallaşma Adımları Tablosu

Adım	Deplasman(mm)	SH-KH	KH-GÖ	GÖ Üzeri
0	-2,083E-14	0	0	0
1	-25,5	0	0	0
2	-51	0	0	0
3	-76,5	0	0	0
4	-102	0	0	0
5	-124,141991	0	0	0
6	-129,786104	0	0	0
7	-146,604839	0	0	0
8	-193,871856	0	0	0
9	-219,371856	0	0	0
10	-244,871856	48	0	0
11	-275,097377	58	0	2
12	-306,433109	82	0	2
13	-336,088333	94	0	2
14	-361,588333	94	0	2
15	-370,547603	94	0	2

Tablo 7. A Tipi Modelde Y Yönünde Deprem İçin Plastik Mafsallaşma Adımları Tablosu

Adım	Deplasman(mm)	SH-KH	KH-GÖ	GÖ Üzeri
0	-0,016447	0	0	0
1	-17,577784	0	0	0
2	-26,94982	0	0	0
3	-27,819014	0	0	0
4	-27,824114	8	0	0
5	-49,161325	40	0	0
6	-68,351494	40	8	0

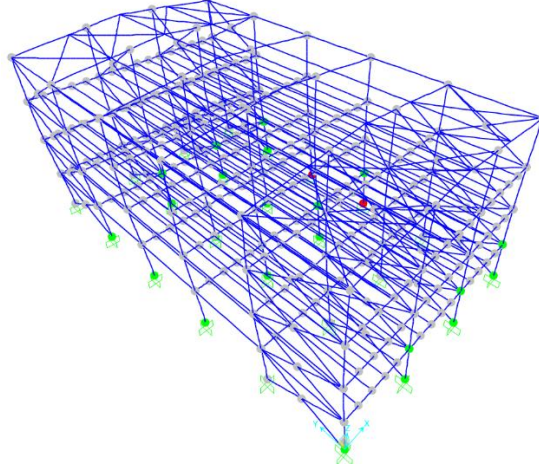
Tablo 8. B Tipi Modelde X Yönünde Deprem İçin Plastik Mafsallaşma Adımları Tablosu

Adım	Deplasman	SH-KH	KH-GÖ	GÖ Üzeri
0	0,27003	0	0	0
1	-57,843992	0	0	0
2	-120,075988	0	0	4
3	-120,075988	1	0	4
4	-120,075988	1	0	4
5	-128,853782	1	0	4
6	-128,869116	1	0	5
7	-166,082565	18	0	7

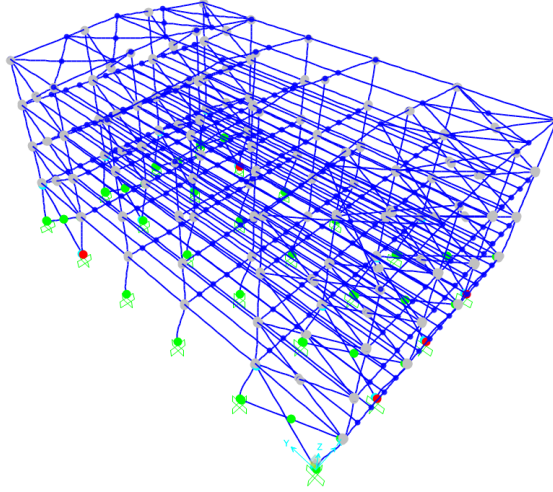
Tablo 9. B Tipi Modelde Y Yönünde Deprem İçin Plastik Mafsallaşma Adımları Tablosu

Adım	Deplasman	SH-KH	KH-GÖ	GÖ Üzeri
0	0,100761	0	0	0
1	-13,325429	0	0	0
2	-23,209973	0	0	0
3	-60,414521	48	0	0

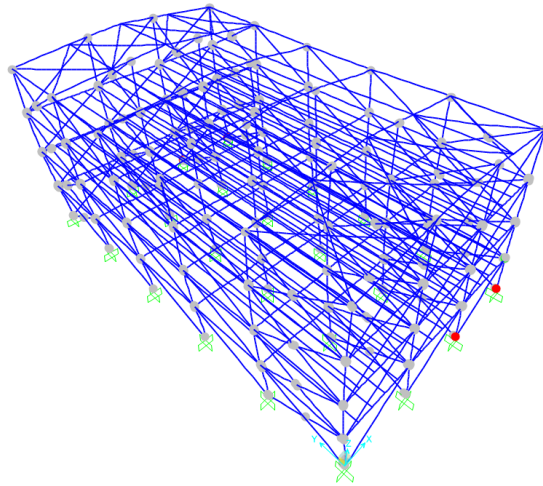
Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Analiz Yöntemi ile belirlenen plastik mafsallaşma noktalarının olduğu şekiller (Şekil 13, Şekil 14, Şekil 15, Şekil 16) aşağıda belirtilmiştir.



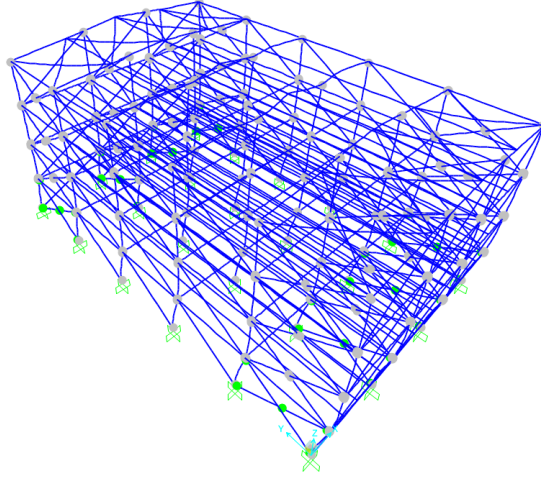
Şekil 13. A Tipi X Yönü Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Plastik Mafsallaşma Noktaları



Şekil 14. A Tipi Y Yönü Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Plastik Mafsallaşma Noktaları



Şekil 15. B Tipi X Yönü Artırimsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Plastik Mafsallaşma Noktaları



Şekil 16. B Tipi Y Yönü Artırımsal Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi Plastik Mafsallaşma Noktaları

VI. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çelik yapılarda dolgu duvarların sayısal modelde göz önünde bulundurulmasının yapısal davranışa etkisinin araştırılması için eşdeğer deprem yükü yöntemi ve artırımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizler yapılmıştır. Bu kapsamda; dolgu duvarın yalnızca yük olarak analize katıldığı A tipi ve dolgu duvarın basınç çubuğu olarak modele katıldığı B tipi isimli iki farklı model oluşturularak yapılan analizlerin sonuçları incelenmiştir. Buna göre:

Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan analiz sonuçlarına göre; dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modelde dikkate alındığı durumda, dolgu duvarların modellenmeyip yük olarak dikkate alındığı duruma göre ağırlığı %38 artmakta buna bağlı olarak periyodu %22 azalmaktadır. Kesme kuvveti, kapasite diyagramı değerlendirildiğinde; dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modele katıldığı durumda daha yüksek taban kesme kuvvetinin karşılanabildiği, dolgu duvarların yalnız yük olarak dikkate alındığı durumda daha yüksek deplasmanlar altında göçme noktasına ulaşıldığı sonucuna varılmıştır.

Artırımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan performans analizi sonuçlarını göstermekte olan Tablo 5, Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8'de A tipi ve B tipi yapılar için plastik mafsallaşma adımları görülmektedir. Hem X yönü hem Y yönünde; dolgu duvarların modellenmeyip yük olarak dikkate alındığı durumda, dolgu duvarların basınç çubuğu olarak modelde dikkate alındığı duruma göre daha yüksek deplasmanda plastik mafsallaşmanın başladığı ve daha yüksek deplasman ile göçme noktasına ulaşıldığı görülmektedir. Yapıların taban kesme kuvveti karşılama kapasitesi kıyaslandığında, A tipi yapıların B tipine göre daha az taban kesme kuvveti ile plastik mafsallaşmaya başladığı ve göçme noktasına ulaştığı, ancak B tipinin A tipine göre daha gevrek davranış gösterdiği tespit edilmiştir.

Literatürde, dolgu duvarların yapı performansına etkisinin incelendiği çok sayıda deneysel çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma sonuçları; mimari sebeplerle kullanılan dolgu duvarların, modelde dikkate alınmaması durumlarının yapısal davranış ve performans sonuçlarına önemli ölçüde etki ettiği anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar analizlerde dolgu duvar etkisinin; yapıların analizlerinde dolgu duvarların sadece yük olarak dikkate alınması ile değil basınç çubuğu şeklinde modele katılması suretiyle göz önünde bulundurulmasının gerektiği gerçeğini ortaya çıkarmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Karasin, İ. B. & Öncü, M. E. (2022). Farklı Dolgu Tipleri için Çerçevelerin İtme Analizi ile Kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, ICAENS 2022, 91-96.
- [2] Bayrak, O.F. & Bikçe, M. (2019). Dolgu duvarların yapısal düzensizliklere ve performansa etkisinin mevcut bir yapı üzerinde incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(3), 241-254.
- [3] Temur, F. (2007). *Statik itme (Pushover) yöntemi kullanılarak yapıların analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [4] Hanoğlu, K.B. (2002). *Fiber Reinforced Plastic Overlay Retrofit of Hollow Clay Tile Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames*. Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Arslan, M.H., Köroğlu, M.A. & Köken, A. (2016). Binaların Yapısal Performansının Statik İtme Analizi İle Belirlenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(2), 71-84.
- [6] Akyürek, O., Tekeli, H., & Demir, F. (2018). Plandaki Dolgu Duvar Yerleşiminin Bina Performansı Üzerine Etkisi, *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(1), 42-55.

- [7] Bayrak, O.F., & Yedek, S. (2017). Çelik çerçeve yapılar özelinde dolgu duvar etkisinin incelenmesi. *Uluslararası Katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu*, 26-28 Ekim, Gaziantep, 139-146.
- [8] Sayın, B., & Kaplan, S.A. (2005). Deprem etkisi altındaki betonarme yapılarda dolgu duvarların modellenme teknikleri. *Kocaeli Deprem Sempozyumu*, 23-25 Mart, Kocaeli, 474-480.
- [9] Kaymak, F. & Tuna, M. (2013). Kısmi ve tam dolgu duvarlı çelik çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışının elasto-plastik analiz yöntemi ile incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(2).
- [10] Güder S.O. (2012), Dolgu Duvarların Yapısal Analizlerde Göz Önüne Alınmasının Düşey Düzensizlik ve Deprem Performansına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Altınağaç, D. (2022). *Doğrusal olmayan itme analizi yöntemi ile performans seviyesi belirlenen çelik bir yapının analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Karlıoğlu, Ö. (2005). *Çok katlı binalarda bulunan tuğla dolgu duvarların yapı davranışına etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [13] Azfuroğlu, S. (2018). *Çok Katlı Çelik Binaların İtme Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] Bayülke, N. (2003), Betonarme Yapının Dolgu Duvarı, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 4(426), 85-98.
- [15] FEMA 356 (2000), Presebtandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*. Washington D.C.
- [16] Mainstone, R.J. (2007), Çerçevelede Dolgu Duvar Modellerinin İncelenmesi, *Proc. Supplement, Trans. Of Instn. Of Civil Engrs.*, State Univ. of New York.
- [17] Foroughi, S. & Yüksel, B. (2022). TBDY 2018'e göre Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri ile Betonarme Yapı Sistemlerinin Performans Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 33-55.
- [18] Arslan, M. H., Köroğlu, M. A. & Köken, A. (2016). Binaların Yapısal Performansının Statik İtme Analizi ile Belirlenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(2), 71-84.
- [19] İdecad 5 Enterprise 5.510 Versiyonu Kullanma Kılavuzu (2007).
- [20] Severcan, M. H. & Sınan, B. (2019). Mevcut Betonarme Yapıların Deprem Performansının Analizi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 936-947.
- [21] Türkiye Deprem Tehlike Haritası. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>, (15.09.2022).
- [22] Türkiye Deprem Yönetmeliği, (2018). *Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar*.



Araştırma Makalesi-Research Article

Çelikler için Yüksek Korozyon Dayanımına Sahip Vanadyum Nitrür Kaplamalar

Vanadium Nitride Coatings with High Corrosion Resistance for Steels

Eray Abakay^{1*}

Geliş / Received: 14/12/2023

Revize / Revised: 13/03/2023

Kabul / Accepted: 24/03/2023

ÖZ

Düşük korozyon dayanımı, alaşımlı çeliklerinden üretilmiş parçaların kullanım ömrünü sınırlamaktadır. Bu çalışmada Vanadyum nitrür (VN), termo reaktif biriktirmeyle AISI 4140 çeliği yüzeyine başarılı bir şekilde kaplanmıştır. Kaplamanın mikroyapısal, kimyasal ve korozyon özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiş ve AISI 4140 çeliğinin özellikleriyle kıyaslanmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri kaplanmış numunenin; VN tabakası, nitrüleme bölgesi ve altlık malzeme bölgesi olmak üzere üç bölgeden oluştuğunu göstermiştir. 1000 °C sıcaklık ve 2 saat kaplama parametreleri için kaplama kalınlığı yaklaşık 5.69 µm'dir. Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) analizlerine göre kaplama tabakasının yapısı Vanadyum ve Azot elementlerini içermektedir. X-ışınları difraksiyon (XRD) analizine göre kaplama VN bileşiğinden oluşmaktadır. Tafel ekstrapolasyonuna göre VN kaplamanın korozyon potansiyeli (E_{kor})-0,604 V ölçülmüş olup, -0,717 V olan AISI 4140 çeliğinin E_{kor} değerine göre önemli miktarda yüksektir. Elektrokimyasal empedans spektroskopisine (EIS) göre kaplama çözünmesi 0.5 M NaCl sulu çözelti ortamındaki korozyonu yük kontrollüdür. Nyquist eğrileri kıyaslandığında VN kaplamanın korozyon dayanımı AISI 4140 çeliğinkinden daha yüksektir. Sonuçlara göre VN kaplamalar AISI 4140 çeliğinin çamur tahliyesinde kullanılan pompalar, kâğıt kesme makineleri ve zirai aletler gibi korozyon ortamlarda kullanımı için ömrü artışı sağlayabilecek özelliktedir.

Anahtar Kelimeler- Vanadyum Nitrür Kaplamalar, Termo Reaktif Biriktirme, AISI 4140 Çeliği, Korozyon

ABSTRACT

Low corrosion resistance limits the service life of parts made of alloy steels. In this study, Vanadium nitride (VN) was successfully coated on the surface of AISI 4140 steel by thermo-reactive deposition. The microstructural, chemical, and corrosion properties of the coating were studied in detail and compared with those of AISI 4140 steel. Scanning electron microscopy (SEM) examinations showed that the coated sample consists of three regions: the VN layer, the nitriding region, and the substrate material region. For 1000 °C temperature and 2 h coating parameters, the layer thickness is 5.69 µm. X-ray diffraction (XRD) analysis show that the coating consists of VN compound. According to Tafel extrapolation, the corrosion potential (E_{corr}) of the VN coating was measured -0.604 V, which is significantly higher than that of AISI 4140 steel, which is -0.717 V. According to electrochemical impedance spectroscopy (EIS), coating corrodes under charge-controlled in 0.5 M NaCl aqueous solution. When Nyquist curves are compared, the corrosion resistance of VN coating is higher than that of AISI 4140 steel.

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ebakay@sakarya.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-2058-339X>)

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Esentepe Kampüsü 54187 Serdivan, Sakarya, Türkiye

According to the results, VN coatings can increase the life of AISI 4140 steel for use in corrosive environments, such as pumps used in sludge discharge, paper cutting machines, and agricultural tools.

Keywords- Vanadium Nitride Coatings, Thermo Reactive Deposition, AISI 4140 Steel, Corrosion

I. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler, mühendislik malzemelerinin özelliklerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Çelikler sahip olduğu yüksek mukavemet, yüksek tokluk, iyi talaşlı işlenebilirlik, üretim kolaylığı ve düşük maliyetleriyle günümüzde en çok tercih edilen malzemelerdir [1]. Ancak özellikle alaşımli çelikler Cl⁻ ve H⁺ gibi iyonların bulunduğu ortamlarda düşük korozyon dayanımı gösterirler. Korozyona bağlı kimyasal bozunum servis esnasında mekanik özelliklerin düşüşüne neden olarak; hasar oluşumu, bakım periyotlarının daralması, parça ömürlerinin kısalması, üretimin durması ve iş yeri kazaları gibi ciddi problemleri meydana getirebilmektedir. Yapılan incelemeler korozyon ve sonuçlarına bağlı bakım maliyetleri için gelişmiş ülkelerin gayri safi milli hasılatının (GSMH) %3 ile %5'i arasında bir miktarın harcadığını göstermektedir. Çin'de korozyon ve korozyondan korunma için yılda yaklaşık 4 milyar Yuan (GSMH'nin yaklaşık %5'i) harcanmaktadır [2].

Mühendislik malzemelerinin korozyon dayanımının artırılmasında çeşitli yöntemlerden yararlanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları alaşımlama ve yüzeylerin kaplanmasıdır [3]. Yüzeylerin kaplanması; korunma sağlanması istenilen yüzeyde korozif ortama dayanıklı başka bir malzemenin biriktirilmesi veya yüzeyin modifiye edilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir [4,5]. Fiziksel ve kimyasal buhar biriktirme, elektrolitik kaplamalar, yüzey dönüşümlü kaplamalar, çeşitli termal sprey yöntemleri, kladlama, iyon aşılama, difüzyon esaslı kaplamalar gibi birçok farklı yöntem çeliklerin yüzeylerinin kaplanmasında kullanılabilir [6]. Difüzyon esaslı bir kaplama yöntemi olan termo reaktif difüzyon (TRD) ilk olarak 1960 yılında Tohru Arai tarafından Japonya'da geliştirilmiştir. Bu yöntemle çeliklerin yüzeyinde karbür, nitrür veya borür tipi seramik esaslı kaplamalar oluşturulabilmektedir. Oluşan kaplamalar genellikle altlık malzemeye metalurjik bağlarla bağlı olması nedeniyle yapışması yüksek, boşluk ve çatlak gibi hatalar içermeyen ve pürüzsüz bir yapıdadır. İşlem tuz banyosu, akışkan yatak veya kutu yöntemleri ile gerçekleştirilebilir olup, kullanılan sarflar ve cihazlar ucuz ve basittir [7].

TRD kaplamaların çeliklerin korozyon dayanımına olan etkisi daha önce yapılan çalışmalarda incelenmiştir. Castillejo vd. tarafından yapılan bir çalışmada AISI D2 çeliği yüzeyinde TRD yöntemiyle NbC, CrC ve NbCrC kaplamalar oluşturulmuş ve çeşitli özellikleri incelenmiştir. Araştırmacılar 0,5M NaCl içeren sulu ortamda yapılan elektrokimyasal korozyon testleri sonuçlarına göre AISI D2 çeliğinin korozyondan korunmasında belirtilen kaplamaların yetersiz olduğu söylenmiştir [8]. Mariani vd. tarafından yapılan bir çalışmada kompakt grafitli dökme demir yüzeyinde NbC, VC ve NbVC esaslı kaplamalar elde edilerek aşınma ve korozyon özellikleri incelenmiştir. Sonuçlara göre 0,5 M NaCl ortamı için üç kaplama da altlık malzemeye göre yüksek korozyon dayanımına sahiptir [9]. OrjuelaG vd. tarafından yapılan bir çalışmada AISI 1045 çeliği yüzeyine TRD yöntemiyle NbC kaplanarak korozyon dayanımı incelenmiştir. Sulu %3,0 NaCl ortamında yapılan elektrokimyasal empedans spektroskopisi deneyleri sonucuna göre NbC kaplama AISI 1045 çeliğini korozyona göre etkin bir şekilde korumuştur. Ancak kaplamanın gözenekli yapısı ilerleyen süreye bağlı olarak korozyon dayanımının azaldığını göstermiştir [10].

Nitrür esaslı kaplamalar içerisinde Vanadyum nitrür (VN) sahip olduğu sürtünme, korozyon ve oksidasyon özellikleri ile dikkat çekmektedir. Aşınmaya maruz kalınan durumlarda VN yüzeyinde oluşan V₂O₅ tabakası katı yağlayıcı görevi görerek sürtünme katsayısında düşüşe neden olmaktadır. Yüksek sıcaklığa maruz kalınan ortamlarda VN kaplamalar iyi oksidasyon dayanımı sağlamaktadır. Saldırgan ortamlarda yapılan korozyon deneyleri VN'nin yüksek korozyon dayanımına sahip olduğunu göstermektedir [11]. VN kaplamaların üretimi genellikle çeşitli fiziksel buhar biriktirme yöntemleriyle yapılmaktadır [12]. TRD yöntemi ile VN üretimine yönelik literatürdeki çalışmalar oldukça sınırlıdır. Biesuz ve Sglavo tarafından yapılan bir çalışmada AISI 4140 çeliği yüzeyinde Krom ve Vanadyum Karbür ve Nitrür kaplamalar üretilerek mikroyapısal, sertlik ve kinetik özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlara göre VN'nin sertliğinin 1717 HV olduğu bildirilmiştir [13]. Uzun ve Şen yaptıkları bir çalışmada TRD yöntemiyle AISI 52100 çeliği yüzeyinde VN tabakası oluşturularak aşınma özelliklerini incelemiştir [14].

Yapılan literatür incelemeleri ve araştırmacıların tecrübeleri TRD yöntemi ile üretilen VN kaplamaların korozyon özelliklerinin incelendiği bir çalışmanın bulunmadığını göstermektedir. Bu bakımdan çalışma alanında ilktir. Ayrıca üretilen kaplamanın diğer yöntemlerle üretilenlere göre daha kalın olması, ekipman ve sarflarının ucuzluğu, yüzey yapışmasının daha yüksek olması gibi avantajları da bulunmaktadır. Bu avantajlarıyla kâğıt kesme bıçakları, çamur tahliyesinde kullanılan pompalar ve çeşitli tarım aletleri gibi parçaların kaplanmasında önemli bir alternatiftir.

II. MALZEME VE YÖNTEM

A. Numune Hazırlama

Çalışmada altlık malzeme olarak ticari kalitedeki AISI 4140 çeliği (Dörrenberg-Edelstahl) seçilmiştir. İşlemden önce kullanılacak numuneler 20 mm çap ve 5 mm kalınlığa sahip olacak şekilde kesilmiş ve işlenmiştir. Numune yüzeyleri; önce taşlanmış ve sonrasında metalografik olarak 1200 gride kadar zımparalanmıştır. Önceki işlemler esnasında yüzeylere bulaşan kir, yağ, pislik vs. aseton kullanılarak 15 dakika süreyle ultrasonik banyoda temizlenmiştir.

Vanadyum nitrür (VN) kaplamanın oluşturulabilmesi için altlık malzemenin azotça zengin bir yüzeye sahip olması gereklidir. Bu nedenle hazırlanan numunelere nitrürleme işlemi uygulanmıştır. Gaz nitrürleme şeklinde yapılan bu işlemde sıcaklık 530 °C ve aktif azot difüzyon süresi 6 saattir. İşleme ait detaylı bilgiler literatürde mevcuttur [15].

B. Vanadyum Nitrür Kaplama İşlemi

Nitrürlenmiş AISI 4140 çeliği yüzeyinde VN tabakasının oluşturulması termo reaktif biriktirme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. İşlemden önce ilk olarak 50 gr. ferro-vanadyum (Aveks), 15 gr. amonyum klorür (Balmumcu Kimya), 34 gr. alümina (Balmumcu Kimya) ve 1 gr. naftalin tozları (Tray) karıştırılmıştır. Kullanılan bütün maddeler ticari kalitededir. Burada ferro-vanadyum vanadyum kaynağı, amonyum klorür aktivatör, alümina dolgu malzemesi ve naftalin deoksidan amaçlı kullanılmıştır. Hazırlanan toz karışımı AISI 309 kalite paslanmaz çelikten üretilen kutu içerisine alınarak numuneler toz bileşimi içerisine gömülmüştür. Son olarak oluşturulan kutudaki bileşimin üzeri oksitlenmenin önlenmesi için sırasıyla alümina ve şamot harcı ile kaplanmıştır. İşlem kül tipi fırında, 1000 °C sıcaklıkta ve 2 saatte gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi sonrası numuneler kutu içerisinde oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra çıkartılmış ve yüzeyleri sıcak suyla temizlenmiştir.

C. Karakterizasyon İşlemleri

Mikroyapısal incelemeler ve kimyasal analizler numunelerin kesit görüntülerinden yararlanılarak ve sırasıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM, Jeol Jsm-6060-Lv) ve bağlantılı çalışan enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) ile yapılmıştır. Numune hazırlama sırasıyla metalografik kesme, sıcak kalıplama, zımparalama, parlatma ve dağlama adımlarını içermektedir. Zımparalama işlemi kademeli olarak 180-400-800-1200 grid zımparalarla yapılmıştır. Parlatma işlemi için -0,3 µm toz boyutuna sahip Al₂O₃ parçacıklar içeren süspansiyon kullanılmıştır. Dağlama işlemi 2 ml/L HNO₃ içeren nital dağlayıcısıyla yapılmıştır.

VN kaplamanın yüzey pürüzlüğü ortalama yüzey pürüzlüğü (R_a) değeri belirlenerek incelenmiştir. Ölçümlerde 2 boyutlu el tipi yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı (Salutron, TR 200) kullanılmıştır. Numune yüzeyindeki 10 farklı bölgeden ölçüm alınmış ve ortalama pürüzlülük değeri belirlenmiştir.

Yapıda bulunan faz ve bileşikler X-ışını kırınımıyla (XRD, Rikagu DMax 2200) tespit edilmiştir. İşlemden önce monokromatize Cu-Kα (λ=1.5406 Å) kullanılmış olup, 2θ tarama aralığı 30-90° ve tarama hızı 1 dk⁻¹'dir. XRD paternleri MDI Jade 6.0 programı kullanılarak incelenmiştir.

D. Korozyon Testleri

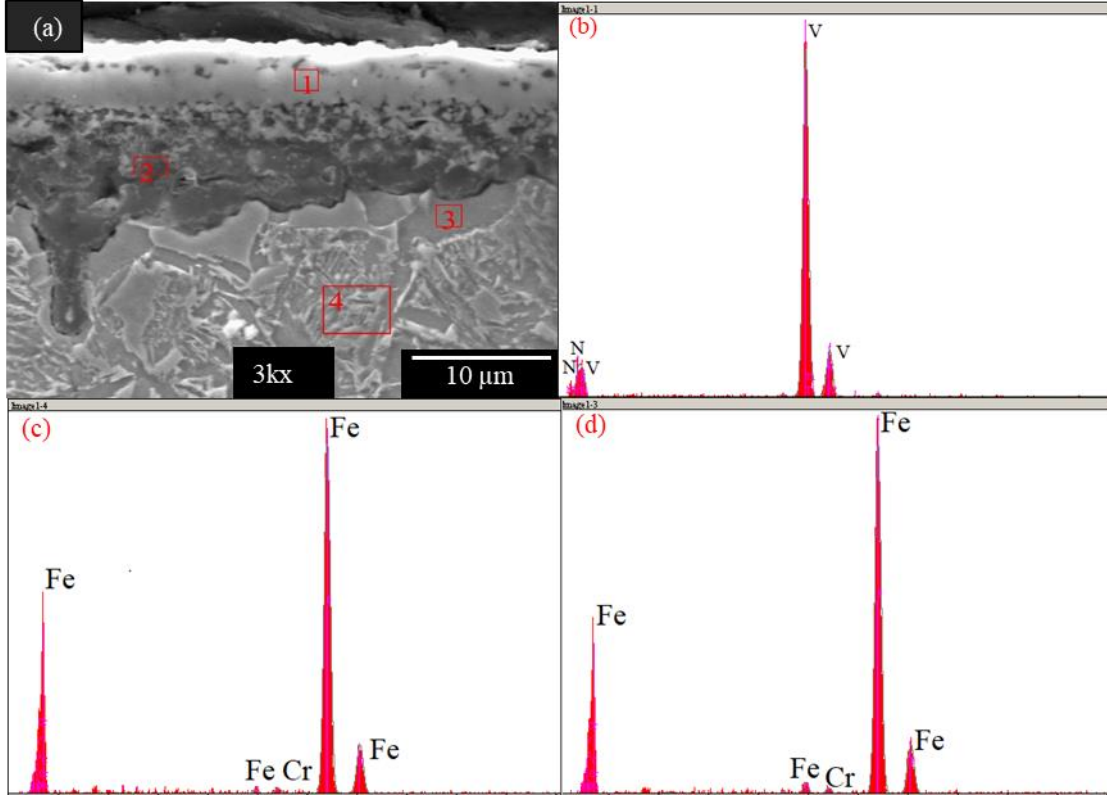
VN kaplamanın korozyon özellikleri potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Her iki test öncesinde numuneler 1800 saniye korozyon ortamına daldırılarak açık devre potansiyeli değişimi gözlemlenmiştir. Testler bir potansiyostat/galvanostat (Gamry Instruments Reference 600) ve üç elektrotlu elektrokimyasal hücre (Gamry Instruments Paracell) kullanılarak, sulu 0.5 M NaCl ortamında ve üç tekrarlı olarak yapılmıştır. Elektrokimyasal hücre; incelenen numune (çalışma elektrodu), grafit plaka (karşı elektrot) ve kalomel elektrottan (referans) oluşmaktadır. Tafel analiz parametreleri; 1,0 mV/dk tarama hızı ve +0,5 ile -0,5 V tarama aralığıdır. Tafel ekstrapolasyonu Gamry Echem yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş, korozyon potansiyeli, akımı, anot ve katot eğimleri (β_a, ve β_c) belirlenmiştir. EIS ölçümleri 10⁵-10⁻² Hz. aralığında oda sıcaklığında 10,0 mV (vs. açık devre potansiyeli) AC pertürbasyonunda gerçekleştirilmiştir.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

A. Kimyasal Bileşim İncelemeleri ve Faz Analizi

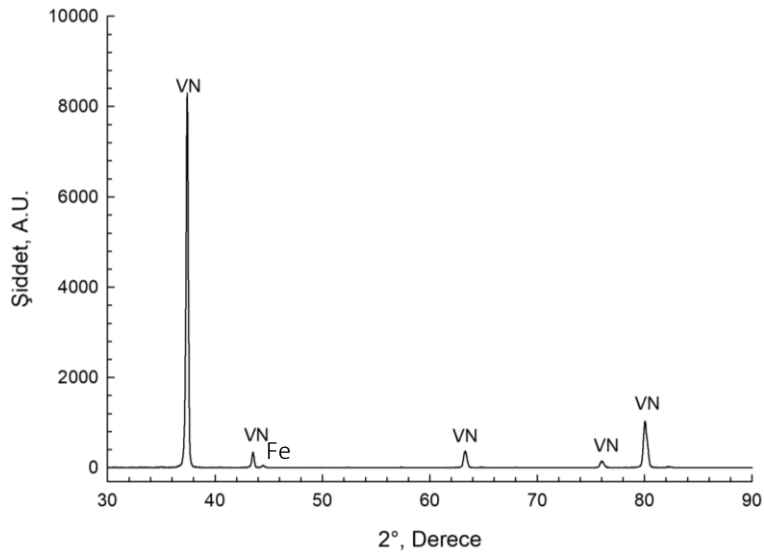
Şekil 1a'da VN kaplanmış AISI 4140 çeliğinin enine-kesit taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü verilmiştir. Görüntüye göre kaplanmış numune; kaplama tabakası, geçiş ve altlık bölgelerinden oluşmaktadır. Kaplama tabakasındaki (1) numaralı alanın enerji dağılımlı X-ışınları spektroskopisi (EDS) analizinde Vanadyum ve Azot elementleri tespit edilmiştir (Şekil 1b). Geçiş bölgesi olarak adlandırılan (2) numaralı bölge nitrürleme işlemine bağlı olarak oluşmuştur. Koyu renkte olan bu bölge nitrürlenmiş çeliklerde

sıklıkla rastlanmaktadır [16]. (3) ve (4) numaralı bölgelerde sadece demir ve krom mevcut olup, daha önce yapılan çalışmalarda AISI 4140 çeliğinin EDS analizleri ile aynıdır [17].



Şekil 1. VN kaplamaya ait (a) enine-kesit SEM görüntüsü, (b-d) sırasıyla [1], [3] ve [4] bölgelerinden alınan EDS analizleri.

Kullanılan SEM ve EDS'nin çalışma prensibi nedeniyle atom numarası 11 (Na)'den küçük olan elementler net şekilde belirlenmemektedir. Bu nedenle kaplama tabakasının içerdiği elementlerin tam olarak belirlenmesi ve yapıyı oluşturan fazların tespiti X-ışını difraksiyonuyla (XRD) gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de verilen XRD paternine göre kaplanmış numune temel olarak VN bileşiğine ait pikler bulundurmakta, ayrıca Fe fazına ait bir minör faz da içermektedir. Biesuz ve Sglavo tarafından yapılan çalışmanın XRD paterninde VN için aynı pikler mevcuttur, ancak bu paternde VN bileşiğine ait piklerinin yanı sıra Fe fazına ait daha faz pik bulunmaktadır. Fe fazının bulunma nedeni daha önce yapılan birçok çalışmada ifade edildiği üzere kaplama tabakası altından alınan sinyaller sebebiyledir [18]. Bu sinyallerin alınmasında kaplama tabakası kalınlığının düşük olması ve poroz yapı etkili olmaktadır [19]. Bahsedilen çalışmada üretilen kaplamanın daha poroz bir yapıda olması daha fazla Fe pikinin görülmesine neden olmuştur.

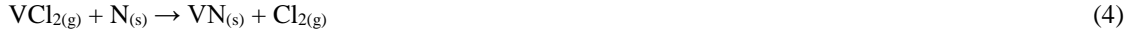
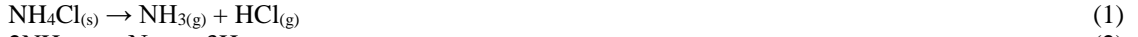


Şekil 2. VN kaplanmış AISI 4140 çeliğine ait XRD paterni

B. Mikroyapısal İncelemeler

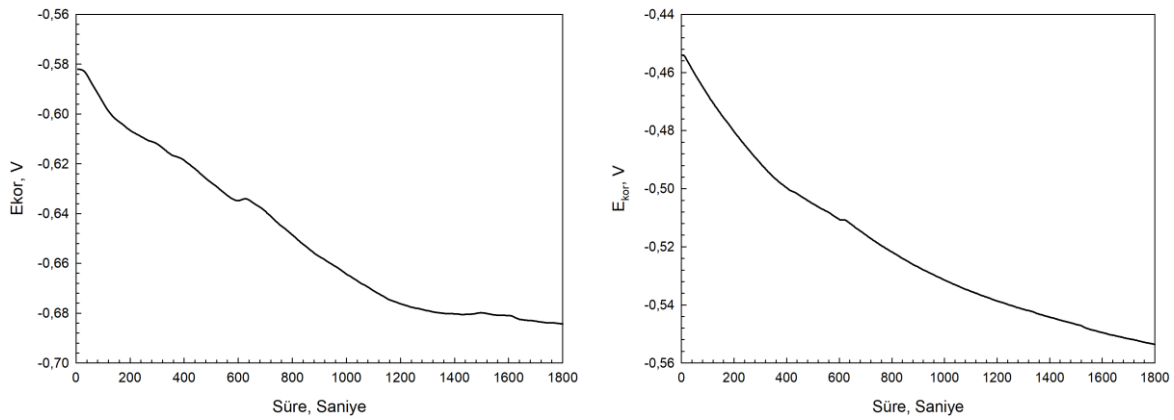
Şekil 1a'da verilen SEM görüntüsüne göre VN tabakası nitrürleşmiş AISI 4140 çeliği yüzeyinde başarılı bir şekilde oluşturulmuştur. 1000 °C sıcaklık ve 2 saat işlem süresi için oluşan tabaka yaklaşık $5.69 \pm 0.2 \mu\text{m}$ kalınlığa sahiptir. Numune pürüzsüz bir yüzeye sahip olup, ortalama pürüzlülük (R_a) değeri $0,32 \pm 0.4 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Kaplama tabakasının altlık malzemeye yakın olan bölgesinde daha önce yapılan benzer çalışmalarda olduğu gibi dentikül yapı bulunmaktadır [20]. Tabaka genelinde çatlak bulunmamasına rağmen, poroziteler mevcuttur. Bu poroziteler genellikle tabakanın yüzeye yakın bölümlerinde bulunmaktadır. Biesuz ve Sglavo porozitelerin bulunmasının nitrürleme bölgesinin elementel dağılımının homojen olmaması nedeniyle olduğunu belirtmiştir [13]. Kaplama tabakasının altında nitrürleme bölgesi bulunmaktadır. Bu bölgenin kaplama tabakasına yakın olan yaklaşık $4.0 \mu\text{m}$ 'lik kısmında çökeltiler mevcutken altlık malzemeye yaklaştıkça bu çökeltilerde azalma görülmektedir. Altlık malzemenin nitrürleme bölgesine yakın olan bölgesinde sadece Fe-Cr katı eriyiği bulunmakta, malzemenin geri kalanında olduğu gibi karbür çökeltileri içermemektedir.

Termo reaktif biriktirme (TRD) termokimyasal reaksiyon temelli bir yöntemdir [21]. Nitrürleşmiş AISI 4140 çeliği yüzeyinde Vanadyum nitrür tabakasının oluşumu da birtakım reaksiyonlarla gerçekleşmiştir. Kaplama ortamının sıcaklığının $340 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ulaşması ile aktivatör görevindeki Amonyum Klorür (NH_4Cl) parçalanarak NH_3 ve HCl gazları açığa çıkmıştır [22]. Sonrasında oluşan HCl ferro vanadyumla reaksiyona girerek VCl gazı oluşmuştur [23]. AISI 4140 çeliğinin nitrürleme bölgesinde bulunan Azot yüksek sıcaklık, basınç ve koruyucu atmosfer etkisiyle malzeme yüzeyinden ortama yayılım göstermiştir. VCl gazı ve N elementleri malzeme-ortam ara yüzey bölgesinde reaksiyona girerek VN tabakasının oluşumunu sağlamıştır. İşlem esnasında gerçekleşen reaksiyonlar aşağıda verilmiştir:



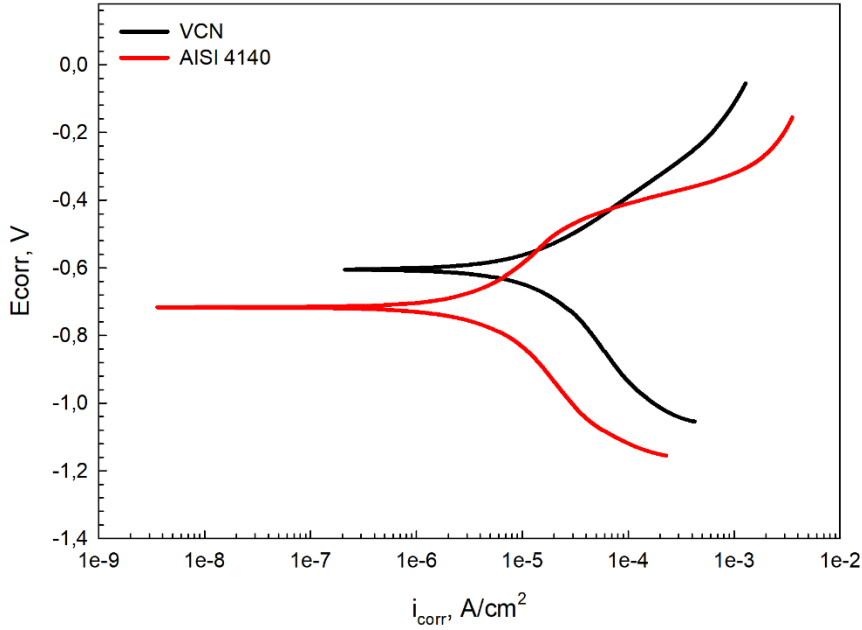
C. Korozyon Özellikleri

AISI 4140 çeliği yüzeyinde oluşturulan VN kaplamasının korozyon özellikleri sulu $0,5 \text{ M NaCl}$ ortamında yapılan elektrokimyasal korozyon deneyleri ile incelenmiş ve sonuçlar işlemsiz AISI 4140 çeliğinkilerle kıyaslanmıştır. Şek. 3a ve b'de sırasıyla AISI 4140 çeliği ve VN kaplamaya ait açık devre potansiyelleri (OCP) verilmiştir. AISI 4140 çeliği için başlangıçta yaklaşık $-0,58\text{V}$ olan korozyon potansiyeli 1400. saniyeye kadar azalma eğilimi göstererek bu sürenin sonunda $-0,68\text{V}$ olmuş ve sonrasında 1600 saniyeye kadar yatay olarak seyretmiştir (Şek. 3a). Metal ve alaşımlar için OCP'de görülen düşüş korozif ortamda çözünmenin gerçekleştiğini göstermektedir [24]. AISI 4140 çeliği de test esnasında 1400 sn. boyunca çözünmüştür. Bu sürenin sonunda yüzeyde oluşan oksit tabakasına bağlı olarak çözünme durmuştur. VN kaplama için başlangıçta işlemsiz AISI 4140 çeliğinkine göre daha pozitif bir E_{kor} değeri mevcuttur ($-0,45\text{V}$, Şek. 3b). 1600. saniyeye kadar gerilim parabolik bir azalma göstererek süre sonunda yaklaşık $-0,55 \text{ V}$ olmuştur. Poroz bir yapıya sahip kaplamalarda elektrolitin kaplama içerisine doğru ilerlemesi potansiyelin süreye bağlı olarak VN kaplamadaki gibi davranışta bulunmasına neden olmaktadır [25].



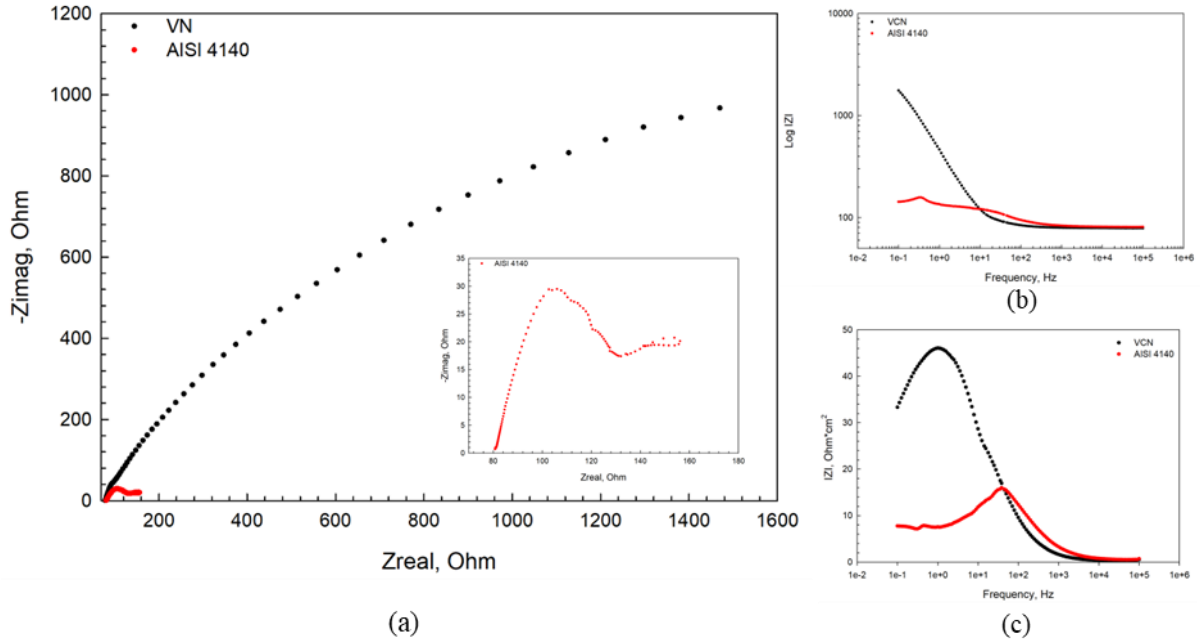
Şekil 3. 0,5 M NaCl içeren sulu çözelti ortamında yapılan korozyon testleri sonucunda elde edilen (a) AISI 4140 çeliği ve (b) VN kaplamaya ait açık devre potansiyelleri

Şekil 4'te VN kaplanmış numune ve AISI 4140 çeliğinin sulu 0,5 M NaCl ortamında elde edilen Tafel eğrileri verilmiştir. Eğrilere göre AISI 4140 çeliğinin yüzeyinin VN kaplanması eğride değişime neden olmuştur. Tafel ekstrapolasyon sonuçlarına göre VN kaplanmış numunenin korozyon potansiyeli ($E_{\text{corr}}=-0,604\text{V}$) AISI 4140 çeliğinkine ($E_{\text{corr}}=-0,717\text{V}$) göre daha yüksektir. Korozyon akımı (i_{kor}) için AISI 4140 çeliğinin değeri $9,02 \mu\text{A}$ olup, VN kaplanmış olan numunenin $77,20 \mu\text{A}$ olan i_{kor} değeri düşüktür. Tafel ekstrapolasyonundan belirlenen anot ve katot eğim açılarının (β_a ve β_c) yüksek değeri numunelerin korozyon hızının polarizasyon kontrollü olduğunu göstermektedir. Bu nedenle i_{corr} , β_a ve β_c değerleri kullanılarak ve Butler-Volmer eşitliği ile korozyon hızı belirlenememiştir [26].



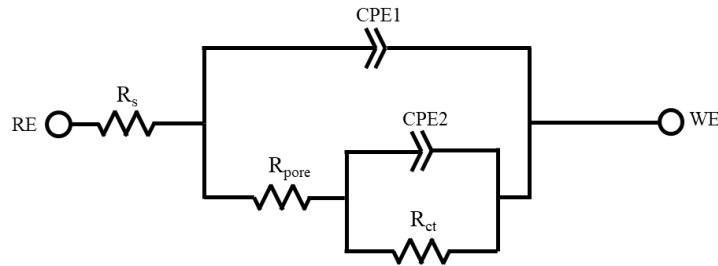
Şekil 4. 0,5 M NaCl içeren sulu çözelti ortamında yapılan korozyon testleri sonucunda elde edilen VN kaplama ve AISI 4140 çeliğine ait Tafel eğrileri.

VN kaplanmış numune ve AISI 4140 çeliğinin 0,5 M sulu NaCl ortamında yapılan korozyon testleri sonucu elde edilen Nyquist ve Bode eğrileri Şekil 5 (a-c)'de verilmiştir. VN kaplama için oluşan Nyquist eğrisi tek bir yaydan ibarettir. Bu durum korozif ortam ve kaplama arasında yük transferine dayanan bir mekanizma ile korozyonun gerçekleştiğini göstermektedir [26]. Yük transferinde VN kaplama ile korozif ortam arayüzeyinde bulunan elektriksel çift tabaka direnci etkili olmaktadır [27]. AISI 4140 çeliğinin Nyquist eğrisinde iki yay mevcuttur. Bunlardan birincisi, VN kaplanmış numune için olduğu gibi, yük kontrollü çözünmeye bağlı olarak oluşmuştur. İkinci yayın oluşumu malzemenin korozyona uğramasına bağlı olarak yüzeyde oluşan oyuklar nedeniyledir [28]. Yay çapları korozyon hızı hakkında da önemli bilgiler vermektedir. Yapılan çalışmalarda daha büyük yay çapına sahip olan malzemelerin korozyon dayanımının daha yüksek olduğu bildirilmiştir [29]. VN kaplama ve AISI 4140 çeliğinin eğrileri karşılaştırıldığında da net bir şekilde VN kaplamanın daha yüksek çapta olduğu görülmektedir. Bu nedenle elde edilen kaplama AISI 4140 çeliğinin korozyona karşı etkin bir koruma sağlamaktadır.



Şekil 5. Sulu 0,5 M NaCl ortamında yapılan elektrokimyasal korozyon testleri sonucunda elde edilen, (a) VN kaplama ve (b) AISI 4140 çeliğine ait Nyquist eğrileri ve (c-d) Bode eğrileri.

Şekil 1a'da verilen kesit SEM görüntüsü ve Şekil 5a-c'de verilen Nyquist ve Bode eğrilerinden yararlanılarak Şekil 6'da verilen VN kaplamaya ait eşdeğer devre oluşturulmuştur. Eşdeğer devrede korozyon deneylerinin bir çözelti içerisinde gerçekleştirilmesine bağlı olarak bir çözelti direnci (R_s) bulunmaktadır. Ortam ve kaplama arayüzündeki reaksiyonlar nedeniyle sabit faz elementi (CPE 1) eklenmiştir. VN kaplama daha önce de belirttiği gibi yapısında boşluklar bulundurmaktadır. Boşluklar boyunca gerçekleşen yük transferi R_{pore} ile temsil edilmiştir. Ayrıca boşluklardan ilerleyen iyonların altlık malzeme yüzeyinde gerçekleştirdiği reaksiyonlar nedeniyle ikinci bir sabit faz elementi (CPE 2) ve R_{ct} ile temsil edilen yük transferi direnci de devreye ilave edilmiştir. Tablo 1'de eşdeğer devre için empedans parametreleri verilmiştir. Oluşturulan eşdeğer devre TRD yöntemi ile üretilen Krom-Vanadyum Karbür ve Niyobyum Karbür kaplamalar için de uygundur [10,30]. Bu kaplamaların Bode eğrileri incelendiğinde VN kaplamanınkine benzerlik göstermektedir.



Şekil 6. Sulu 0,5 M NaCl ortamında yapılan elektrokimyasal korozyon deneylerinde VN kaplama için kullanılan eşdeğer devre.

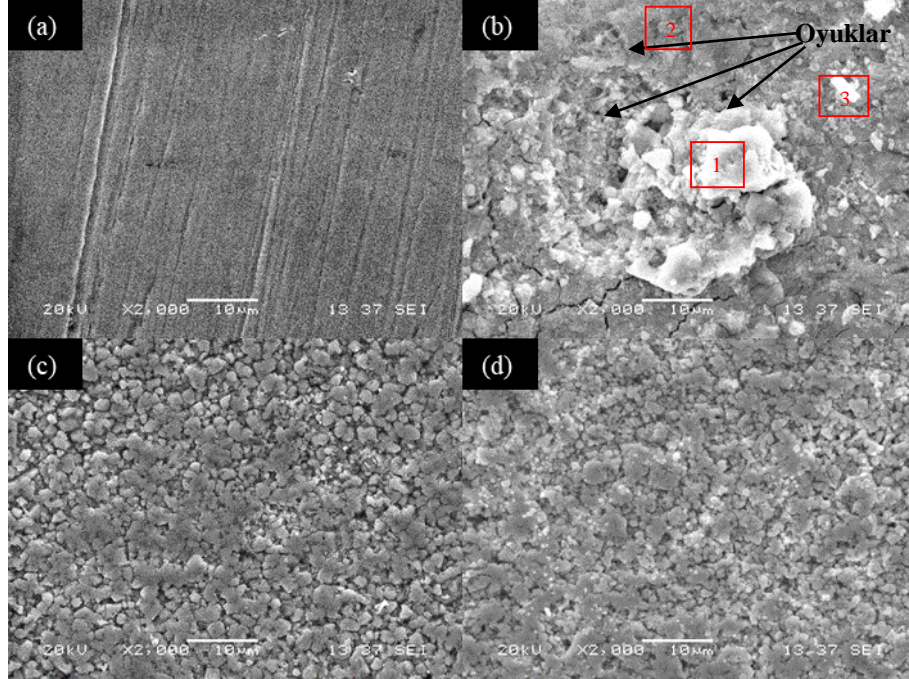
Tablo 1. Sulu 0,5 M NaCl ortamında yapılan elektrokimyasal korozyon deneyleri sonuçlarından yararlanılarak hesaplanan empedans parametreleri.

R_s ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	CPE 1		R_{pore} ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	CPE 2		R_{ct} ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)
	Y_0	α		Y_0	α	
78,56	$459,7 \times 10^{-6}$	$783,4 \times 10^{-3}$	179,0	$100,3 \times 10^{-6}$	$740,5 \times 10^{-3}$	$2,138 \times 10^3$

İşlemsiz AISI 4140 çeliği ve VN kaplama için 0,5 M NaCl ortamında yapılan korozyon deneyleri öncesi ve sonrasına ait yüzey SEM görüntüleri Şekil 7 (a-d)'de verilmiştir. İşlemsiz AISI 4140 çeliği için yüzeyde zımpara çizikleri mevcut olup, başka herhangi bir hata tespit edilmemiştir (Şekil 7a). Çeliğin korozyona maruz kalması

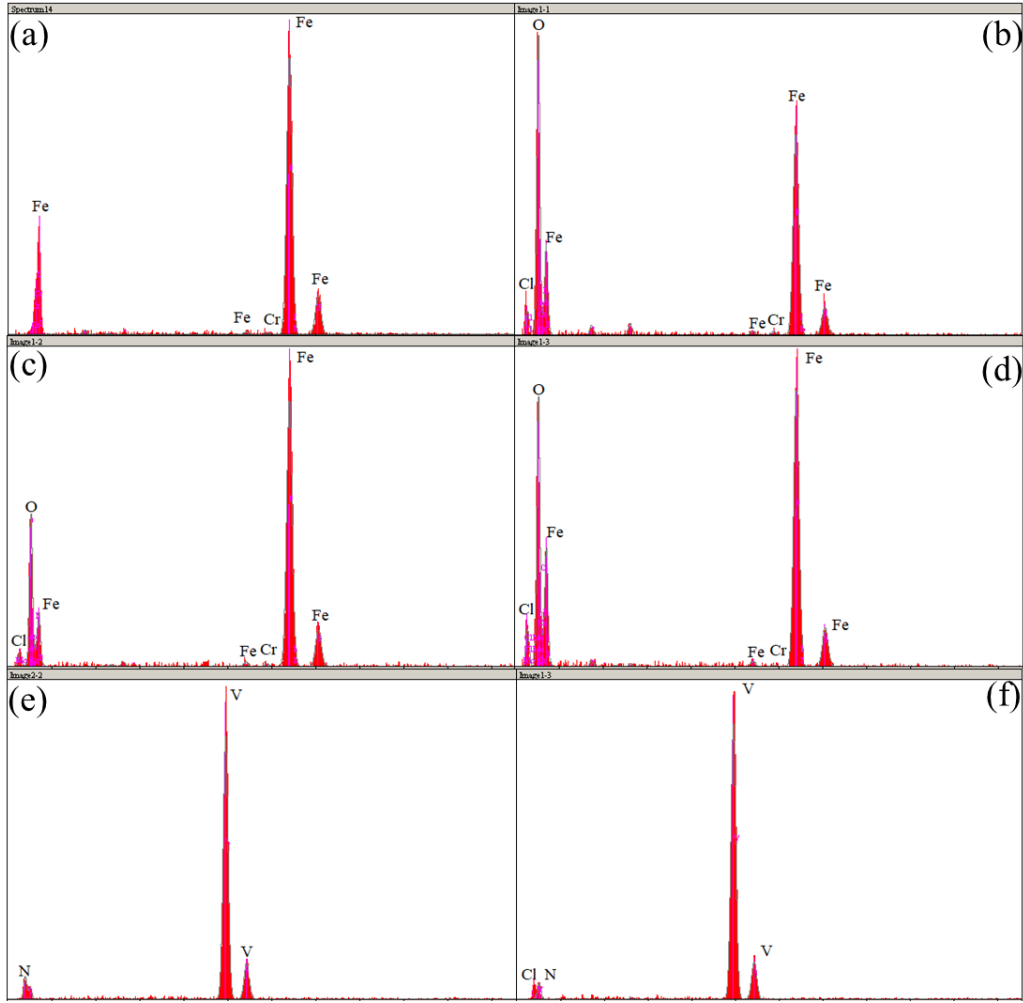
sonucunda yüzeyinde oyuklar, çatlaklar ve korozyon ürünleri oluşmuştur (Şekil 7b). Ayrıca meydana gelen korozyon homojen türde olup, bütün yüzeyde korozyon ürünleri mevcuttur. AISI 4140 gibi düşük alaşımlı çeliklerin korozyon davranışı sulu 0,5 M NaCl çözeltisi ortamında yapılan korozyon deneyleriyle detaylı şekilde incelenmiştir. Korozyon ortam içerisinde çeliklerin yüzeyinde oyukların oluşumu genellikle görülmekte olup, oluşum mekanizmaları çeşitli çalışmalarda incelenmiştir [32,33]. Korozyon sonucu oluşan oksit tabakası koruyucu türde olmayıp deney süresince malzeme korozyona uğramaya devam etmektedir [33]. Ayrıca bu tabaka çatlama ve dökülme eğilimleri de göstermektedir [34].

VN kaplama için korozyon deneyi sonucunda yüzey görüntüsünde herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir (Şekil 7c ve d). Fiziksel buhar biriktirme yöntemleri ile üretilen VN kaplamalar bölgesel korozyona uğramakta olup çatlak veya boşluk türü hatalar içermektedir [35,36]. Ancak, çalışmamızda üretilen VN kaplamada benzer bir durum görülmemiştir. VN iyonik bağlarla bağlı bir seramik malzeme olup, Cl⁻ iyonlarına karşı kararlı bir davranış sergilemiştir.



Şekil 7. AISI 4140 çeliği ve VN kaplama için sulu 0,5 M NaCl ortamında yapılan elektrokimyasal korozyon testleri öncesi ve sonrasına ait yüzey SEM görüntüleri.

Şekil 8a'da işlemsiz AISI 4140 çeliği ve VN kaplamaya ait sulu 0,5 M NaCl çözeltisinde yapılan korozyon deneyleri öncesine ve sonrasına ait EDS analizleri verilmiştir. İşlemsiz AISI 4140 çeliği için numune yüzeyi, Şekil 1 (c) ve (d) verilen EDS analizleri ile tutarlı bir şekilde Fe esaslı olup eser miktarda Cr içermektedir. Korozyon deneyleri sonrasında işlemsiz AISI 4140 çeliğinin (1), (2) ve (3) noktalarından alınan EDS analizleri incelendiğinde Fe ve Cr'a ilave olarak Cl ve O de belirlenmiştir (Şekil 8b-d). O'nin üç bölgede de tespit edilmesi numunenin bütün yüzeylerinin korozyona uğradığını göstermektedir. Cl tespit edilmesi korozyon deneyleri sonucunda yüzeyde kalan NaCl artıkları nedeniyledir. Şekil 8e korozyon testleri öncesi VN kaplamanın bütün yüzeyinden alınan EDS analizini göstermektedir. Kaplama yüzeyinde sadece V ve N elementleri mevcut olup, Şekil 1b'de verilen EDS analizi ile sonuçlar uyumludur. Korozyon deneyi sonrasında alınan EDS analizinde V ve N elementlerine ilave olarak Cl tespit edilmiştir. AISI 4140 çeliği gibi Cl iyonu tespit edilmesi korozyon sıvı nedeniyledir. Harici bir elementin tespit edilmemesi sulu 0,5 M NaCl ortamında VN kaplamanın kararlı bir davranış göstererek çözünmediğini göstermektedir.



Şekil 8. (a) İşlemsiz AISI 4140 çeliğinin korozyon deneyi öncesi bütün yüzeyine ait, (b-d) sulu 0,5 M NaCl çözeltisi ortamında yapılan korozyon deneyleri sonrasında sırasıyla (1), (2) ve (3) noktalarından alınan, (e) Korozyon deneyi öncesi VN bütün kaplama yüzeyine ait ve (f) sulu 0,5 M NaCl çözeltisi ortamında yapılan korozyon deneyleri sonrasında bütün yüzeyinden alınan EDS analizleri.

Vanadyum nitrür (VN) tabakası korozif ortamlara karşı dayanıklı bir seramiktir [37]. 0,5M sulu NaCl ortamı ve altlık malzeme arasında VN tabakası bulunması ortam-malzeme arasındaki teması kesilmesini sağlamıştır. Kaplamanın yoğun karakterli olması ortamda bulunan Cl⁻ iyonlarının altlık malzeme yüzeyine temas ederek korozyona neden olmasını engellemiştir. Korozyon prosesi test şartlarında sadece kaplamanın çözünmesi şeklinde devam etmiş ve sonlanmıştır. Bu duruma kaplamanın güçlü bağlar içeren seramik özellikte olması önemli rol oynamıştır. Sonuçlara göre VN kaplama çeliklerin korozyona karşı uzun süreli korunma sağlayacak niteliktedir.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada AISI 4140 çeliği yüzeyi termo reaktif biriktirme yöntemiyle VN kaplanmıştır. Üretilen kaplamanın mikroyapısal, kimyasal ve korozyon özellikleri detaylarıyla incelenmiştir. İncelemeler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

- Kaplanmış numune; VN kaplama tabakası, nitrüleme işlemine bağlı azotça zengin bölge ve altlık malzeme bölgelerinden oluşmaktadır.
- Kaplama tabakası 1000°C sıcaklık ve 2 saat işlem parametrelerine bağlı olarak 5,69 µm olup, sadece VN bileşimini içermektedir.
- VN kaplanmış numunenin korozyon potansiyeli – 0,604 V olup AISI 4140 çeliğine göre (-0,717 V) daha yüksektir.

• Elektrokimyasal empedans spektroskopisi incelemelerine göre sulu 0,5 M NaCl ortamında VN kaplama yük kontrollü olarak çözünmektedir. Kaplanmış numune ve AISI 4140 çeliğinin Nyquist eğrileri kıyaslandığında, VN kaplama AISI 4140 çeliğine etkin korozyon dayanımı sağlamaktadır.

Sonuçlara göre VN alaşımli çeliklerin korozyon dayanımının artırılması için uygulanabilecek bir kaplamadır. Kâğıt kesme bıçakları, çamur tahliyesinde kullanılan pompalar ve çeşitli tarım aletleri gibi parçalar kaplanarak ömür artışı sağlanması muhtemeldir.

Yapılan çalışma neticesinde Vanadyum nitrür kaplamaların farklı özelliklerinin incelenmesi gerektiği belirlenmiştir. Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda kuru korozyon (oksidasyon), yüksek sıcaklık aşınması, X-ışını fotoelektron ve Raman spektroskopisi, elektron geniş açılım kırınımı incelemeleri yapılarak literatüre kazandırılması düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın hazırlanmasında bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Uğur Şen, Prof. Dr. Şaduman Şen, Doç. Dr. Egemen Avcu 'ya teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKÇA

- [1] Attarzadeh N., Molaei M., Babaei K., & Fattah-alhosseini A. (2021). New Promising Ceramic Coatings for Corrosion and Wear Protection of Steels: A Review, *Surfaces, and Interfaces*, 23, 100997.
- [2] Xu H., & Zhang Y. (2019) A Review on Conducting Polymers and Nanopolymer Composite Coatings for Steel *Corrosion Protection Coatings*, 9, 807.
- [3] Galedari S. A., Mahdavi A., Azarmi F., Huang Y., & McDonald A. (2019). A Comprehensive Review of Corrosion Resistance of Thermally-Sprayed and Thermally-Diffused Protective Coatings on Steel Structures *J Therm Spray Tech*, 28, 645–77.
- [4] Bekmurzayeva A., Duncanson W. J., Azevedo H. S., & Kanayeva D. (2018). Surface modification of stainless steel for biomedical applications: Revisiting a century-old material *Materials Science and Engineering: C*, 93, 1073–89.
- [5] Ludwig G. A., Malfatti C. F., Schroeder R. M., Ferrari V. Z., & Muller I. L. (2019). WC10Co4Cr coatings deposited by HVOF on martensitic stainless steel for use in hydraulic turbines: Resistance to corrosion and slurry erosion *Surface and Coatings Technology*, 377, 124918.
- [6] Fenker M., Balzer M. & Kappl H., (2014). Corrosion protection with hard coatings on steel: Past approaches and current research efforts *Surface and Coatings Technology*, 257, 182–205.
- [7] Arai T. (2015). The thermo-reactive deposition and diffusion process for coating steels to improve wear resistance *Thermochemical Surface Engineering of Steels*, 703–35.
- [8] Castillejo F. E., Marulanda D. M., Olaya J. J., & Alfonso J. E. (2014). Wear and corrosion resistance of niobium–chromium carbide coatings on AISI D2 produced through TRD *Surface and Coatings Technology*, 254, 104–11.
- [9] Mariani F. E., Takeya G. S., Lombardi A. N., Picone C. A., & Casteletti L. C. (2020). Wear and corrosion resistance of Nb-V carbide layers produced in vermicular cast iron using TRD treatments *Surface and Coatings Technology*, 397, 126050.
- [10] Orjuela G. A., Rincón R. & Olaya J. J., (2014). Corrosion resistance of niobium carbide coatings produced on AISI 1045 steel via thermo-reactive diffusion deposition *Surface and Coatings Technology*, 259, 667–75.
- [11] Aissani L., Alhussein A., Nouveau C., Ghelani L., & Zaabat M. (2019). Influence of film thickness and ArN2 plasma gas on the structure and performance of sputtered vanadium nitride coatings *Surface and Coatings Technology*, 378, 124948.
- [12] Suszko T., Gulbiński W., Urbanowicz A., & Gulbiński W. (2011). Preferentially oriented vanadium nitride films deposited by magnetron sputtering *Materials Letters*, 65, 2146–8.
- [13] Biesuz M., & Sglavo V. M. (2016). Chromium and vanadium carbide and nitride coatings obtained by TRD techniques on UNI 42CrMoS4 (AISI 4140) steel *Surface and Coatings Technology*, 286, 319–26.
- [14] Şen U., Uzun M., & Şen Ş. (2012). Tribological Properties of Vanadium Nitride Coated AISI 52100 Steel *Advanced Materials Research*, 445, 643–8.
- [15] Kovacı H., Hacısalihoğlu İ., Yetim A. F., & Çelik A. (2019). Effects of shot peening pre-treatment and plasma nitriding parameters on the structural, mechanical and tribological properties of AISI 4140 low-alloy steel *Surface and Coatings Technology*, 358, 256–65.
- [16] Li C. X., Georges J. and Li X. Y. (2002). Active screen plasma nitriding of austenitic stainless steel *Surface Engineering*, 18 453–7.
- [17] Ozturk M., Husem F., Karademir I., Maleki E., Amanov A., & Unal O. (2023). Fatigue crack growth rate of AISI 4140 low alloy steel treated via shot peening and plasma nitriding *Vacuum*, 207, 111552.

- [18] Kurt B., Özdoğan L., Güney B., Bölükbaşı Ö. S., & Günen A. (2020). Characterization and wear behavior of TiBC coatings formed by thermo-reactive diffusion technique on AISI D6 steel *Surface and Coatings Technology*, 385, 125332.
- [19] Lobe S., Dellen C., Finsterbusch M., Gehrke H. G., Sebold D., Tsai C. L., Uhlenbruck S., & Guillon O. (2016). Radio frequency magnetron sputtering of Li₇La₃Zr₂O₁₂ thin films for solid-state batteries *Journal of Power Sources*, 307, 684–9.
- [20] Sen U. (2005). Friction and wear properties of thermo-reactive diffusion coatings against titanium nitride coated steels *Materials & Design*, 26, 167–74.
- [21] Günen A., Kalkandelen M., Gök M. S., Kanca E., Kurt B., Karakaş M. S., Karahan İ. H., & Çetin M. (2020). Characteristics and high temperature wear behavior of chrome vanadium carbide composite coatings produced by thermo-reactive diffusion *Surface and Coatings Technology*, 402, 126402.
- [22] Wu X., Gao D., Wang P., Yu H., & Yu J. (2019). NH₄Cl induced low-temperature formation of nitrogen-rich g-C₃N₄ nanosheets with improved photocatalytic hydrogen evolution *Carbon*, 153, 757–66.
- [23] Fawazul R., & Mochtar M. A. (2019). Effect of FeV Residual Powders as an Innovation of Thermo Reactive Deposition Process (TRD) with Material Balance Method to Carbide Surface Characteristics on SUJ2 Tool Steel *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 553, 012018.
- [24] Sridhar T. M., Kamachi Mudali U. & Subbaiyan M. (2003). Preparation and characterisation of electrophoretically deposited hydroxyapatite coatings on type 316L stainless steel *Corrosion Science*, 45 237–52.
- [25] Guilemany J. M., Espallargas N., Suegama P. H., & Benedetti A. V. (2006). Comparative study of Cr₃C₂–NiCr coatings obtained by HVOF and hard chromium coatings *Corrosion Science*, 48 2998–3013.
- [26] Sun Y. P., Yang C. T., Yang C. G., Xu D. K., Li Q., Yin L., Qiu C. S., Liu D., & Yang K. (2019). Stern–Geary Constant for X80 Pipeline Steel in the Presence of Different Corrosive Microorganisms *Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.)*, 32, 1483–9.
- [27] Allahkaram S. R., Nazari M. H., Mamaghani S. & Zarebidaki A. (2011). Characterization and corrosion behavior of electroless Ni–P/nano-SiC coating inside the CO₂ containing media in the presence of acetic acid *Materials & Design*, 32, 750–5.
- [28] Mohammadloo H. E., Sarabi A. A., Alvani A. A. S., Salimi R., & Sameie H. (2013). The effect of solution temperature and pH on corrosion performance and morphology of nanoceramic-based conversion thin film *Materials and Corrosion*, 64, 535–43.
- [29] Ramkumar T., Selvakumar M., Mohanraj M., Chandramohan P., & Narayanasamy P. (2020). Microstructure and Corrosion Behavior of ZnO-Mg Coating on AISI 4140 Steel Fabricated by Spray Coating *J. of Materi Eng and Perform*, 29, 5796–806.
- [30] Joseph A., Gautham V., Akshay K. S., & Sajith V. (2022). 2D MoS₂-hBN hybrid coatings for enhanced corrosion resistance of solid lubricant coatings *Surface and Coatings Technology*, 443, 128612.
- [31] Castillejo F., Olaya J. J., & Alfonso J. E. (2019). Wear and Corrosion Resistance of Chromium–Vanadium Carbide Coatings Produced via Thermo-Reactive Deposition *Coatings*, 9 215.
- [32] Su H., Wei S., Liang Y., Wang Y., Wang B., & Yuan Y. (2020). Pitting behaviors of low-alloy high strength steel in neutral 3.5 wt% NaCl solution based on in situ observations *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 863 114056.
- [33] Ebrahimi M., Sohi M. H., Raouf A. H. & Mahboubi F. (2010). Effect of plasma nitriding temperature on the corrosion behavior of AISI 4140 steel before and after oxidation *Surface and Coatings Technology*, 205 S261–6.
- [34] Hara S., Kamimura T., Miyuki H., & Yamashita M. (2007). Taxonomy for protective ability of rust layer using its composition formed on weathering steel bridge *Corrosion Science*, 49 1131–42.
- [35] Je H., & Kimura A. (2014). Stress corrosion cracking susceptibility of oxide dispersion strengthened ferritic steel in supercritical pressurized water dissolved with different hydrogen and oxygen contents *Corrosion Science*, 78 193–9.
- [36] Caicedo J. C., Zambrano G., Aperador W., Escobar-Alarcon L., and Camps E. (2011). Mechanical and electrochemical characterization of vanadium nitride (VN) thin films *Applied Surface Science*, 258 312–20.
- [37] Escobar C. A., Caicedo J. C., and Aperador W. (2014). Corrosion resistant surface for vanadium nitride and hafnium nitride layers as function of grain size *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 75 23–30.
- [38] Peng X., Huang C., Dai J., & Liu Y. (2022). Uniform cobalt grafted on vanadium nitride as a high efficient oxygen evolution reaction catalyst *International Journal of Hydrogen Energy*, 47, 4386–93.



Araştırma Makalesi - Research Article

On Some Class of Normal Differential Operators for First Order

Birinci Mertebeden Normal Diferansiyel Operatörlerin Bazı Sınıfları

Rukiye Öztürk Mert^{1*}

Geliş / Received: 22/12/2022

Revize / Revised: 08/03/2023

Kabul / Accepted: 15/03/2023

ABSTRACT

In this work, we construct the minimal and maximal operators generated by linear differential-operator expression for first order in the Hilbert space of vector-functions on finite symmetric interval. Then, deficiency indices of the minimal operator will be calculated and the space of boundary values of this operator will be constructed. By using of Calkin-Gorbachuk method, the general representation of all normal extensions of the formally normal minimal operator in terms of boundary values will also be established. Moreover, we explore the spectrum structure of these extensions.

Keywords- *Normal Differential Operator, Deficiency Indices, Space of Boundary Value, Spectrum*

ÖZ

Bu çalışmada, sonlu simetrik aralıktaki vektör fonksiyonların Hilbert uzayında, birinci mertebeden lineer diferansiyel-operatör ifadesi tarafından doğrulan minimal ve maksimal operatörleri oluşturulmuştur. Daha sonra, bu minimal operatörün defekt sayıları hesaplanmış ve sınır değer uzayı oluşturulmuştur. Calkin-Gorbachuk yöntemi kullanılarak, formal normal minimal operatörün tüm normal genişlemelerinin sınır değerler dilinde genel formu oluşturulmuştur. Son olarak, bu genişlemelerin spektrum yapısı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler- *Normal Diferansiyel Operatör, Defekt Sayıları, Sınır Değer Uzayı, Spektrum*

*Corresponding Author Contact: rukiyeozturkmert@hitit.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-8083-5304>)
Department of Mathematics, Hitit University, Faculty of Art and Sciences, 19100, Çorum, Turkey

I. INTRODUCTION AND NOTATIONS

The operator theory has a key role in multi-particle quantum calculus, quantum field theory, and differential equations with multi boundary values [1,2]. Selfadjoint extensions of linear densely defined closed symmetric operators have been introduced by von Neumann and Stone [3,4]. Then applications of these operators have been examined by Glazman [5] and Naimark [6]. It is noteworthy to mention that Glazman-Krein-Naimark Theorem and the Calkin-Gorbachuk method are really important in the existing literature (see [7, 8]). Everitt, Markus, O'Regan, Agarwal, Zettl and Sun [9-12] have obtained some results in scalar cases and these results motivate us to investigate them in vector cases.

Let L^* be Hilbert adjoint of L . Note that if $D(L) \subset D(L^*)$ and $\|Lu\| = \|L^*u\|$ for all $u \in D(L)$ then a densely-defined closed operator L is said to be formally normal. Also, if there is no formally normal extension for formally operator L then it is said that L is maximal formally normal. If $D(L) = D(L^*)$ holds for a formally normal operator L then L is said to be normal (see [13]).

In [13] Coddington has presented the generalized versions of the results given by von Neumann for normal extensions of formally normal operators in Hilbert space, and analogous results in unbounded cases have been studied by Kilpi [14-16] and Davis [17]. Note that these results have important applications in differential operators [18-23].

Ismailov and et. all have investigated some spectral problems associated with functional type linear singular differential operator of first order in the Hilbert space of vector functions [24-34].

This study, we examine the differential expression

$$k(u) = iu'(-t) + Au(t)$$

in $L^2(H, (-1,1))$, where H is a separable Hilbert space, $A: D(A) \subset H \rightarrow H$ densely defined selfadjoint operator, $A \geq 0$, and $L^2(H, (-1,1))$ the Hilbert space consisting vector functions.

Observe $u, v \in C_0^\infty(H, (-1,1))$,

$$\begin{aligned} \langle k(u), v \rangle_{L^2(H, (-1,1))} &= \int_{-1}^1 \langle iu'(-t), v(t) \rangle_H dt + \langle Au, v \rangle_{L^2(H, (-1,1))} \\ &= - \int_{-1}^1 \langle iu'(-t), v(t) \rangle_H dt + \int_{-1}^1 \langle iu(-t), v'(t) \rangle_H dt + \langle Au, v \rangle_{L^2(H, (-1,1))} \\ &= \langle iu(1), v(-1) \rangle_H - \langle iu(-1), v(1) \rangle_H + \int_{-1}^1 \langle iu(-t), v'(t) \rangle_H dt \\ &\quad + \langle Au, v \rangle_{L^2(H, (-1,1))} \\ &= \int_{-1}^1 \langle u(t), -iv'(-t) \rangle_H dt + \langle Au, v \rangle_{L^2(H, (-1,1))} \\ &= \langle u, k^+(v) \rangle_{L^2(H, (-1,1))}. \end{aligned}$$

If so, formally adjoint expression of $k(\cdot)$ in $L^2(H, (-1,1))$ is found as

$$k^+(v) = -iv'(-t) + Av(t).$$

The minimal K_0 and maximal K operators associated with differential-operator expression $k(\cdot)$ in $L^2(H, (-1,1))$ can be constructed with the use of same method as in [18, 35]. The operator K_0 is formally normal in $L^2(H, (-1,1))$. One can easily observe that K_0 is not maximal. Furthermore, the differential-operator expression $k(\cdot)$ with the boundary condition $u(1) = 0$ generates a normal extension of K_0 in $L^2(H, (-1,1))$.

Here, our aim is to present the general representation of all normal extensions of K_0 in $L^2(H, (-1,1))$ and examine the spectrum of these extensions.

II. MAIN RESULTS

In Section 2, the general representation of all normal extensions of K_0 will be investigated.

The real and imaginary parts of $k(\cdot)$ can be represented as

$$k_r(u) = \frac{k(u) + k^+(u)}{2} = A(t)u(t)$$

and

$$k_i(u) = \frac{k(u) - k^+(u)}{2i} = u'(-t).$$

It is clear that, the complex part of $k(\cdot)$ is a formally symmetric operator. Now, we will examine the general representation of all normal extensions of K_0 in $L^2(H, (-1,1))$ via Calkin-Gorbachuk method. To describe all normal extensions of K_0 , it is sufficient to represent all selfadjoint extensions of the minimal operator K_{i_0} which is generated by the differential expression $k_i(\cdot)$ in $L^2(H, (-1,1))$. Then, in a Hilbert space, the deficiency indices of any symmetric operator are defined at [6].

First of all, we demonstrate the following lemma which we will require later.

Lemma 1.

$$(n_-(K_{i_0}), n_+(K_{i_0})) = (\dim H, \dim H)$$

holds for the deficiency indices of K_{i_0} .

Proof. Since M_0 is closed symmetric and A is selfadjoint, then the operators M_0 and $M_0 + A$ have equal deficiency indices [6], where M_0 is the minimal operator generated by following expression

$$m(u) = u'(-t)$$

in $L^2(H, (-1,1))$.

In order to find the deficiency indices of M_0 , we have to solve the following differential equations

$$u'(-t) \pm iu(t) = 0,$$

in $L^2(H, (-1,1))$.

Let us define the operator J as follows:

$$J: L^2(H, (-1,1)) \rightarrow L^2(H, (-1,1)),$$

$$Ju(t) := u(-t).$$

Then $J^2 = I$, $J^* = J$ and $\|J\| = 1$ hold.

Therefore, we can rewrite the above equations as follows:

$$-(Ju)'(t) \pm iJ(Ju)(t) = 0$$

in $L^2(H, (-1,1))$.

If we take $Ju = v$, then we get

$$-v'(t) \pm Jv(t) = 0$$

in $L^2(H, (-1,1))$.

The solutions of the last equations have the form

$$v_{\pm}(t) = e^{\mp ijt} f, f \in H.$$

From these representations, we find

$$\|v_+\|_{L^2(H, (-1,1))}^2 = \int_{-1}^1 \|v_+\|_H^2 dt = \int_0^1 \|e^{-ijt} f\|_H^2 dt = \|f\|_H^2 < \infty.$$

Consequently, $n_-(M_0) = \dim \ker(M + iI) = \dim H$.

Besides them,

$$\|v_-\|_{L^2(H, (-1,1))}^2 = \int_{-1}^1 \|v_-\|_H^2 dt = \int_{-1}^1 \|e^{ijt} f\|_H^2 dt = \|f\|_H^2 < \infty$$

holds for any $f \in H$.

Therefore $n_+(M_0) = \dim \ker(M - iI) = \dim H$.

Hence, we get $(n_-(K_{i_0}), n_+(K_{i_0})) = (\dim H, \dim H)$.

Lemma 2. The triplet (H, γ_1, γ_2)

$$\gamma_1: D(K_i) \rightarrow H, \gamma_1(u) = u(1),$$

$$\gamma_2: D(K_i) \rightarrow H, \gamma_2(u) = u(-1), u \in D(K)$$

is a boundary values space of K_{i_0} in $L^2(H, (-1,1))$.

Proof. For any $u, v \in D(K_{i_0})$, direct calculations show that

$$\begin{aligned} & \langle K_i u, v \rangle_{L^2(H, (-1,1))} - \langle u, K_i v \rangle_{L^2(H, (-1,1))} \\ &= \langle u'(-t) + Au(t), v(t) \rangle_{L^2(H, (-1,1))} - \langle u(t), v'(-t) + Av(t) \rangle_{L^2(H, (-1,1))} \\ &= \langle u'(-t), v(t) \rangle_{L^2(H, (-1,1))} - \langle u(t), v'(-t) \rangle_{L^2(H, (-1,1))} \\ &= \int_{-1}^1 \langle u'(-t), v(t) \rangle_H dt - \int_{-1}^1 \langle u(t), v'(-t) \rangle_H dt \\ &= - \int_{-1}^1 \langle u(-t), v(t) \rangle'_H dt \\ &= \langle u(1), v(-1) \rangle_H - \langle u(-1), v(1) \rangle_H \\ &= \langle \gamma_1(u), \gamma_2(v) \rangle_H - \langle \gamma_2(u), \gamma_1(v) \rangle_H. \end{aligned}$$

Now let $f, g \in H$. We can find a function $u \in D(K_i)$ such that

$$\gamma_1(u) = u(1) = f \text{ and } \gamma_2(u) = u(-1) = g.$$

If one picks u as follows

$$u(t) = \frac{1}{2}((1-t)g + (1+t)f), u \in D(K),$$

then

$$\gamma_1(u) = f \text{ and } \gamma_2(u) = g$$

hold.

As a consequence of the technical used in [7], one can immediately have the following.

Theorem 1. If \tilde{K}_i is a selfadjoint extension of K_{i_0} in $L^2(H, (-1,1))$, then it is generated by the differential-operator expression $k_i(\cdot)$ and the boundary condition

$$(U - I)u(1) + i(U + I)u(-1) = 0,$$

where U is unitary, I is identity operator on H . Furthermore, the unitary operator U is determined uniquely by the extension \tilde{K}_i , i.e., $\tilde{K}_i = K_{i_U}$ and vice versa.

Proof. Each selfadjoint extensions of K_{i_0} are defined by the differential-operator expression $k(\cdot)$ with boundary condition

$$(U - I)\gamma_1(u) + i(U + I)\gamma_2(u) = 0,$$

where $U: H \rightarrow H$ is a unitary operator. By using last lemma, we obtain

$$(U - I)u(1) + i(U + I)u(-1) = 0.$$

It completes the proof.

Now, let us describe the characterization of all normal extensions of K_0 in $L^2(H, (-1,1))$.

Theorem 2. Let $A^{1/2}(D(\tilde{L})) \subset W_2^1(H, (-1,1))$ and $AJ = JA$. Then $k(\cdot)$ generates each normal extension \tilde{K} of K_0 in $L^2(H, (-1,1))$ together with the boundary condition

$$(U - I)u(1) + i(U + I)u(-1) = 0,$$

where U is a unitary operator on H . Moreover, U is uniquely determined by \tilde{K} and vice versa.

Proof. If \tilde{K} is any normal extension of K_0 in $L^2(H, (-1,1))$, then

$$Re(\tilde{K}) = \overline{A \otimes I}, Re(\tilde{K}): D(\tilde{K}) \subset L^2(H, (-1,1)) \rightarrow L^2(H, (-1,1)),$$

$$Im(\tilde{K}) = \overline{I \otimes \frac{d}{dt} J}, Im(\tilde{K}): D(\tilde{K}) \subset L^2(H, (-1,1)) \rightarrow L^2(H, (-1,1)),$$

where the symbol \otimes denotes a tensor product, are selfadjoint extensions of $Re(K_0)$ and $Im(K_0)$ in $L^2(H, (-1,1))$, respectively. By Theorem 1, the extension $Im(\tilde{K})$ is generated by $k_i(\cdot)$ and the boundary condition

$$(U - I)u(1) + i(U + I)u(-1) = 0,$$

where U is a unitary operator on H . Furthermore, U is uniquely determined by \tilde{K} .

On the contrary, assume that K_U be an operator which is generated by $k(\cdot)$ and the boundary condition $(U - I)u(1) + i(U + I)u(-1) = 0$,

with any unitary operator $U: H \rightarrow H$. In this case, it is obvious that

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}(\tilde{K}) &= \overline{A \otimes I}, \operatorname{Re}(\tilde{K}): D(\tilde{K}) \subset L^2(H, (-1,1)) \rightarrow L^2(H, (-1,1)), \\ \operatorname{Im}(\tilde{K}) &= \overline{I \otimes \frac{d}{dt}J}, \operatorname{Im}(\tilde{K}): D(\tilde{K}) \subset L^2(H, (-1,1)) \rightarrow L^2(H, (-1,1)) \end{aligned}$$

are selfadjoint operators. Additionally, since $AJ = JA$, we have for every $u \in D(K_U)$

$$\begin{aligned} &\langle \operatorname{Re}(\tilde{K})u, \operatorname{Im}(\tilde{K})u \rangle_{L^2(H, (-1,1))} - \langle \operatorname{Im}(\tilde{K})u, \operatorname{Re}(\tilde{K})u \rangle_{L^2(H, (-1,1))} \\ &= \langle u'(-t), Au(t) \rangle_{L^2(H, (-1,1))} - \langle Au(t), u'(-t) \rangle_{L^2(H, (-1,1))} \\ &= \langle A^{1/2}u'(-t), A^{1/2}u(t) \rangle_{L^2(H, (-1,1))} - \langle A^{1/2}u(t), A^{1/2}u'(-t) \rangle_{L^2(H, (-1,1))} \\ &= \langle A^{1/2}u(-t), A^{1/2}u(t) \rangle'_{L^2(H, (-1,1))} \\ &= \langle A^{1/2}u(-1), A^{1/2}u(1) \rangle_H - \langle A^{1/2}u(1), A^{1/2}u(-1) \rangle_H \\ &= \langle Au(1), u(1) \rangle_H - \langle JAu(1), u(1) \rangle_H = 0. \end{aligned}$$

Then, we complete the proof.

III. SPECTRAL ANALYSIS OF NORMAL EXTENSIONS

Here, we examine the spectral properties of any normal extensions K_U of K_0 in $L^2(H, (-1,1))$.

We first prove the following theorem which deals with the structure of the spectrum.

Theorem 3. The followings are equivalent:

- i. $\mu \in \sigma(K_U)$.
- ii. $0 \in \sigma((U - I)e^{-i(A-\mu)J} + i(U + I)e^{i(A-\mu)J})$.

Proof. Let the proof begin with the spectrum problem. We have the following problem

$$K_U(u) = \mu u + f, f \in L^2(H, (-1,1)), \mu \in \mathbb{C}.$$

Then we get

$$\begin{aligned} iu'(-t) + Au(t) &= \mu u(t) + f(t), f \in L^2(H, (-1,1)), \mu \in \mathbb{C}, \\ (U - I)u(1) + i(U + I)u(-1) &= 0 \end{aligned}$$

that is,

$$-i(Ju)'(t) + AJ(Ju)(t) = \mu J(Ju)(t) + f(t), f \in L^2(H, (-1,1)), \mu \in \mathbb{C}.$$

On the other side, a direct calculation shows that

$$u(t) = J e^{-i(A-\mu)Jt} f_\mu + iJ \int_{-1}^t e^{-i(A-\mu)J(t-s)} f(s) ds, f_\mu \in H, -1 < t < 1.$$

Taking the boundary conditions into account, we obtain that

$$[(U - I)e^{-i(A-\mu)J} + i(U + I)e^{i(A-\mu)J}]Jf_\mu = -i(U - I)J \int_{-1}^1 e^{-i(A-\mu)J(1-s)} f(s) ds.$$

Therefore, $\mu \in \sigma(K_U)$ iff

$$0 \in \sigma((U - I)e^{-i(A-\mu)J} + i(U + I)e^{i(A-\mu)J}).$$

Corollary 1. If $U = I$ and $U = -I$, then $\sigma(K_I) = \emptyset$ and $\sigma(K_{-I}) = \emptyset$, respectively.

Proof. If $U = I$, then we have

$$(U - I)e^{-i(A-\mu)J} + i(U + I)e^{i(A-\mu)J} = 2ie^{i(A-\mu)J}.$$

We also get $0 \notin \sigma(2ie^{i(A-\mu)J})$. Then $\sigma(K_I) = \emptyset$ by using Theorem 3.

In a similar manner, if $U = -I$, then we obtain

$$(U - I)e^{-i(A-\mu)J} + i(U + I)e^{i(A-\mu)J} = -2ie^{-i(A-\mu)J}.$$

We get $0 \notin \sigma(-2ie^{-i(A-\mu)J})$. It gives from Theorem 3; we again find that $\sigma(K_{(-I)}) = \emptyset$. This completes the proof.

REFERENCES

- [1] Albeverio, S., Gesztesy, F., Hoegh-Krohn, R., & Holden, H. (2005). Solvable Models in Quantum Mechanics. AMS Chelsea Publishing, Providence, RI, USA, 488.
- [2] Zettl, A. (2005). Sturm-Liouville Theory. American Mathematical Society, Mathematical Surveys and Monographs, 121, Providence, RI, USA, 328.
- [3] Von Neumann, J. (1929-1930). Allgemeine eigenwerttheories hermitescher funktionaloperatoren. *Mathematische Annalen*, 102, 49-131 (in German).
- [4] Stone, M. H. (1932). Linear transformations in Hilbert space and their applications in analysis. *Amer. Math. Soc. Collag.*, 15, 49-131.
- [5] Glazman, I. M. (1950). On the theory of singular differential operators. *Uspehi Math. Nauk*, 40, 102-135.
- [6] Naimark, M. A. (1968). Linear Differential Operators, II. Ungar, New York, 352.
- [7] Gorbachuk V. I. & Gorbachuk, M. L. (1991). Boundary Value Problems for Operator Differential Equations, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, 347.
- [8] Rofe-Beketov, F. S. & Kholkin, A. M. (2005). Spectral analysis of differential operators, World Scientific Monograph Series in Mathematics, 7, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Hackensack, NJ, 438.
- [9] El-Gebeily, M. A., O'Regan, D. & Agarwal, R. (2011). Characterization of self-adjoint ordinary differential operators. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 659-672.
- [10] Everitt, W. N. & Markus, L. (1997). The Glazman-Krein-Naimark Theorem for ordinary differential operators. *Operator Theory, Advances and Applications*, 98, 118-130.
- [11] Everitt, W. N. & Poulkou, A. (2003). Some observations and remarks on differential operators generated by first order boundary value problems. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 153, 201-211.
- [12] Zettl, A. & Sun, J. (2015). Survey Article: Self-adjoint ordinary differential operators and their spectrum. *Rosky Mountain Journal of Mathematics*, 45 (1), 763-886.
- [13] Coddington, E. A. (1973). Extension Theory of Formally Normal and Symmetric Subspaces, American Mathematical Society, Providence, RI, USA, 80.
- [14] Kilpi, Y. (1953). Über lineare normale transformationen in Hilbertschen raum. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae Mathematica*, 154, 1-38 (in German).
- [15] Kilpi, Y. (1957). Über das komplexe momenten problem. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae Mathematica*, 236, 1-32 (in German).
- [16] Kilpi, Y. (1963). Über die anzahl der hypermaximalen normalen fort setzungen normalen transformationen. *Annales Universitatis Turkuensis Series Ai*, 65, 1-12 (in German).
- [17] Davis, R. H. (1955). Singular normal differential operators, PhD, University of California, Berkeley, USA, 96.
- [18] Ismailov, Z. I. (2006). Compact inverses of first-order normal differential operators. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 320 (1), 266-278.
- [19] Ismailov, Z. I. & Erol, M. (2012). Normal differential operators of first-order with smooth coefficients. *Rocky Mountain Journal of Mathematics*, 42 (2), 1100-1110.
- [20] Ismailov, Z. I. & Erol, M. (2012). Normal differential operators of third-order. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistic*, 41 (5), 675-688.
- [21] Ismailov, Z. I. & Öztürk Mert, R. (2012). Normal extensions of a singular multipoint differential operator of first order. *Electronic Journal of Differential Equations*, 36, 1-9.
- [22] Ismailov, Z. I. & Öztürk Mert, R. (2014). Normal extensions of a singular differential operator on the right semi-axis. *Eurasian Mathematical Journal*, 5 (3), 117-124.
- [23] Ismailov, Z. I., Sertbaş, M., & Güler, B. O. (2014). Normal extensions a first order differential operator. *Filomat*, 28 (5), 917-923.
- [24] Ismailov, Z. I., Güler, B. Ö., & Ipek, P. (2015). Solvability of first order functional differential operators. *Journal of Mathematical Chemistry*, 53 (9), 2065-2077.
- [25] Ismailov, Z. I., Güler, B. Ö., & Ipek, P. (2016). Solvable time-delay differential operators for first order and their spectrums. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 3 (45), 755-764.
- [26] Ismailov, Z. I. & Ipek, P. (2014). Spectrums of solvable pantograph differential-operators for first order. *Abstract and Applied Analysis*, 2014, 1-8.
- [27] Ismailov, Z. I. & Ipek, P. (2015). Solvability of multipoint differential operators of first order. *Electronic Journal of Differential Equations*, 36, 1-10.
- [28] Ismailov, Z. I. & Ipek Al, P. (2019). Boundedly solvable neutral type delay differential operators of the first order. *Eurasian Mathematical Journal*, 10 (3), 20-27.

- [29] Ismailov, Z. I., Yılmaz, B., & Ipek, P. (2017). Delay differential operators and some solvable models in life sciences. *Communications Faculty of Science University of Ankara Series A1 Mathematics and Statistics*, 66 (2), 91-99.
- [30] Ipek Al, P. & Akbaba, Ü. (2020). On the compactly solvable differential operators for first order. *Lobachevskii Journal of Mathematics*, 41 (6), 1078-1086.
- [31] Ipek Al, P. & Ismailov, Z. I. (2021). First order selfadjoint differential operators with involution. *Lobachevskii Journal of Mathematics*, 42 (3), 496-501.
- [32] Ipek Al, P. & Akbaba, Ü. (2021). Maximally dissipative differential operators of first order in the weight Hilbert space. *Lobachevskii Journal of Mathematics*, 42 (3), 490-495.
- [33] Ipek Al, P. & Ismailov, Z.I. (2018). Maximal accretive singular quasi-differential operators. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 47, 1120-1127.
- [34] Akbaba, Ü. & Ipek Al, P. (2021). Maximally accretive differential operators of first order in the weight Hilbert space. *Lobachevskii Journal of Mathematics*, 42 (12), 2707-2713.
- [35] Hörmander, L. (1955). On the theory of general partial differential operators. *Acta Mathematica*, 94, 161-248.



Araştırma Makalesi - Research Article

Çaydaki Kafein Miktarına Farklı Demleme ve Analiz Şartlarının Etkisi

Effect of Different Brewing and Analysis Conditions on Caffeine Content in Tea

Cemile Yerlikaya^{1*}

Geliş / Received: 05/01/2023

Revize / Revised: 03/04/2023

Kabul / Accepted: 13/04/2023

ÖZ

Kafein, önemli bir tarımsal ürün olan çayın en önemli bileşenidir. Kafein yaygın kullanımı nedeniyle büyük ticari değer taşımaktadır. Sinir sistemi üzerine uyarıcı etkiye sahip olan kafein, aşırı tüketildiğinde istenmeyen etkilerle neden olabilmektedir. Türkiye, Dünya çay üretiminde altıncı sıradadır fakat yıllık kişi başına çay tüketiminde birinci sırada yer almaktadır. Kafeinin ekonomik önemi ve ülkemizdeki çay tüketiminin fazla olması nedeniyle çayın kafein içeriğinin kesin olarak bilinmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada çayın kafein içeriği farklı demleme ve analiz şartları uygulanarak, UV-Vis spektrofotometre cihazı ile belirlenmiştir. Çay demleri hazırlanırken demlikte çay demleme yöntemi dikkate alınarak durgun şartlarda çalışılmış, üç farklı sıcaklıkta farklı demleme süresi, çay/su ve dem/kloroform oranı için yüzde kafein içerikleri bulunmuştur. Bu çalışmaya göre, çayda analiz edilen kafein değerleri demleme sıcaklığına çok bağlıdır. Düşük sıcaklıklarda kafeinin deme çekilmesi için uzun süre gerekmede, yüksek sıcaklıkta çay/su oranı artışı kafein değerini etkilemektedir. Kloroform üç farklı sıcaklık için yüksek hacimli demlerden bile kafeini ekstrakte edebilmektedir. Düşük LOD (0.338 mg/L) ve LOQ (1.025 mg/L) değerleri ile bu yöntem kafeinsiz kahve ya da çay ve bitki çayları için de uygundur.

Anahtar Kelimeler- *Camellia Sinensis, Çay Demi, Kafein, Kloroform*

ABSTRACT

Caffeine is the main component of tea that is important as an agricultural product. Caffeine has a great commercial value because of its different industrial applications. It has a stimulating effect on the nervous system and can cause undesirable effects when consumed excessively. Turkey is a significant producer of tea, ranking sixth in the world but has one of the world's highest per capita consumption levels. Due to the economic importance of caffeine and the health effects caused by high consumption level of tea, it is important to know the caffeine content of tea precisely. In this study, the caffeine content of the tea was determined by applying different brewing and analysis conditions with UV-Vis spectrophotometer. While preparing tea infusions, stagnant conditions were used by considering the brewing tea in the teapot and the percentage of caffeine contents were obtained by changing the brewing time, tea/water and infusion/chloroform ratio for three different temperatures. According to the results, the measured caffeine are highly dependent on brewing temperature. Brewing requires a long time at low temperatures and the increase in tea/water ratio at high temperature affects the caffeine percentage. Chloroform is capable of extracting the caffeine from tea infusions even at high volume of infusions and high temperature. Since

^{1*}Sorumlu yazar iletişimi: yerlikayace@itu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3023-7028>)

Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, İstanbul, Türkiye

it has low LOD (0.338 mg/L) and LOQ (1.025 mg/L) values, this method is also suitable for decaffeinated coffee or tea and herbal teas.

Keywords- *Camellia Sinensis, Tea Infusion, Caffeine, Chloroform*

I. GİRİŞ

Kafein 63 kadar bitkinin tohumu, meyvesi ve yapraklarında doğal olarak bulunan ksantin alkaloidlerindedir. Kafein özellikle kahve ve kakao çekirdeğinde, çay, mate (Paraguay çayı) yaprağında ve kola cevizinde bulunur [1,2]. Sinir, sindirim, kalp-damar, dolaşım ve solunum sistemi üzerine çok sayıda etkisi bulunmaktadır. Böbrek fonksiyonları ve kas-kemik sistemi de kafein tarafından etkilenmektedir [2,3]. Kafein merkezi sinir sistemi için güçlü bir uyarıcıdır ve yüksek miktarlarda alındığında sindirim sisteminde ciddi tahrişler ve istenmeyen etkiler meydana getirebilir. Kafein tıpta, dolaşım ve solunum sistemini uyarıcı olarak, diüretik etkisi nedeni ile ve beyin kan basıncı azalttığından baş ağrılarını geçirmek için kullanılmaktadır [2,4]. Günlük hayatımızda yiyecek, içecek ve ilaçlar yoluyla aldığımız kafeinin dozu, bu gıda ya da ilaçların tüketim miktarına ve içerdikleri kafein miktarına bağlı olarak değişmektedir. Kavrulmuş kahve çekirdeği %1.1-2.2, yeşil kahve çekirdeği %1.5, kakao çekirdeği %0.03-1.7, çay yaprağı %1.5-3.5, mate %0.9-2.2 kafein içermektedir [5,6]. Kafein, en çok içecekler yolu ile alınır ve çay, dünyada sudan sonra en çok tüketilen içecek olduğundan, kafeinin büyük miktarı çay içimi ile vücuda alınır [3,7].

Çay, çaygiller (Theaceae) familyasından küçük bir ağaç olan *Camellia sinensis* bitkisinin yaprakları ve yaprak tomurcuklarıdır [8,9]. Anavatanı Çin olarak bilinen bu bitkinin kurutulmuş yapraklarının sıcak suda demlenmesi ile elde edilen içecek de “çay” olarak tanımlanır [10]. Başlangıçta ilaç olarak kullanılan çay, giderek yaygınlaşmış ve MS 6. Yüzyılda gündelik bir içecek haline gelmiştir. Tüketimi fazla olduğundan önemli bir zirai üründür. Dünya’da 45 tropik ve subtropik ülkede çay üretimi yapılmakta olup, 2018 Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization, FAO) verilerine göre kuru çay üretimi 5.9 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Dünya kuru çayının %36’sı Çin’de, %4’ü ise Türkiye’de üretilmektedir. Yurdumuzda çay yetiştirme denemeleri ilk defa 1888-1892 tarihleri arasında, Japonya’dan getirilen çay tohumları ile Bursa’da yapılmış, fakat gerekli ekolojik şartlar bulunmadığından bu denemelerden başarılı sonuç alınamamıştır. 1924 yılında Rize’de, Gürcistan’dan getirilen tohum ve fidanlarla ilk çay yetiştirme denemelerinden sonuç alınmış ve ilk çay fabrikası 1947 yılında Rize’de kurulmuştur. Günümüzde, Doğu Karadeniz Bölgesi’nin, Hopa’dan Ordu’ya kadar uzanan, 15-20 km genişliğinde uzun bir sahil şeridinde çay tarımı yapılmaktadır. Türkiye, dünyadaki en büyük çay üreticilerinden biridir ve aynı zamanda çay tüketiminin en fazla olduğu ülkedir. Türk insanı yılda kişi başına 2500 bardak çay tüketmekte bu da yaklaşık 3.5 kg dökme çaya karşılık gelmektedir [11,12].

Ülkemizde çay tüketimi ve kültürü uzun bir geçmişe sahip değildir, fakat çay, günümüzde oluşturduğu kültürü ile sosyal yaşamda yeri doldurulamayacak bir değer haline gelmiştir. Türkiye’de siyah dökme çay tercih edilir ve çaydanlık-demlik kullanılarak çay hazırlanır. Demlikte karıştırma yapılmaz ve yüzeydeki çayın dibe çökmesi sonrasında, demin oluştuğuna karar verilir. Alttaki çaydanlıkta su sürekli kaynatılır ve üste konulan demlikte tutulan demlenmiş çaydan istenilen miktar alınıp, kaynamış su ile seyreltilir. Bardakta yapılan bu seyreltme işleminde az dem kullanılmış ise “açık çay”, çok dem kullanılmış ise “koyu çay” tanımlamaları kullanılır [11]. Seyreltme işlemine göre vücuda alınan kafein miktarı da değişmektedir. Bu nedenle çaydaki kafeinin miktarının belirlenmesi, vücut üzerindeki etkileri düşünüldüğünde bir hayli önem kazanmaktadır.

Kafeinin ekonomik önemi ve ülkemizdeki çay tüketiminin fazla olması nedeniyle çayın kafein içeriğinin kesin olarak bilinmesi önem taşımaktadır. Bir bardak çaydaki kafein miktarı çay çeşidi, demleme süresi, demleme sırasında karıştırma yapılması, çay/su oranı ve sunum hacmi gibi çok farklı faktörlere bağlıdır [13]. Yüksek sıcaklık kafein çözünürlüğünü ve difüzyon hızını artırır ve demleme süresini kısaltır [14,15]. Demleme süresi ise demdeki kafein konsantrasyonundan çok etkilenir. Sıcak su çaya temas ettiğinde 0-15 dakikada demdeki kafein miktarı hızla artar, uzun demleme sürelerinde (15-60 dakika) az artış izlenir [15,16]. Biyo bileşenlerin bir çözücüde çözünmesi fiziksel bir olaydır. Çözücü miktarının artması bioaktif maddelerin çözücü ile temasını artırmakta bu nedenle ekstraksiyon hızı artmaktadır [17]. Çay/su oranı arttıkça çay deminde çözünen bileşen konsantrasyonu artmakta fakat ekstraksiyon etkinliği düşmektedir [18,19]. Demdeki kafeinin ekstraksiyonu için kullanılan çözücü miktarları çalışmalarda verilmektedir [20, 21]. Buna rağmen dem/çözücü oranının kafein analizine etkisine ait bir çalışma bulunmamaktadır.

Gıda ve içeceklerde kafeinin analizi için Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) [1,3], Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Spectrometry, FTIR) [8,22], Yakın İnfrared Spektroskopisi (Near-Infrared Spectrometry, NIR) [6], Raman spektroskopisi [23] ve Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS) [24] gibi cihazlar kullanılmaktadır. Sözü edilen yöntemler kesin sonuçlar vermekle birlikte; pahalı, zaman harcayan ve numune hazırlığı gerektiren yöntemlerdir. Diğer yöntemlere göre daha ekonomik olan UV-Vis

spektrofotometre ile az miktarda numune ve diğerlerine kıyasla basit işlemlerle kesin ve tekrar edilebilir sonuçlar elde edilebilir. UV-Vis spektrofotometre hemen hemen her araştırma merkezi ve kalite kontrol laboratuvarlarında bulunabilen, kullanımı kolay bir cihazdır [25]. Bu nedenle kafein analizinde UV-Vis spektrofotometre kullanılarak yapılan çalışmaların sayısı bir hayli fazladır [26, 27].

Hangi analiz yöntemi ya da cihaz kullanılmış olursa olsun, analize etki eden faktörlerin araştırıldığı çalışmalarda çok faktörlü ANOVA kullanılarak sonuçlar değerlendirilebilir. Örneğin; İki faktörlü ANOVA (SPSS *General Linear Model, Univariate (GLM Univariate)*) ile iki faktörün ayrı ayrı etkileri yanı sıra etkileşim etkileri de değerlendirilebilmektedir. SPSS GLM Univariate Post hoc testleri ve Tahmini Marjinal Ortalamalar (TMO) ile ikili ve/veya çoklu karşılaştırma yapılabilir. Alt grupların (*subsets*) sınıflandırılması Tukey HSD ya da Bonferroni Post Hoc testlerine ait çoklu karşılaştırma tabloları kullanılarak yapılabilmektedir. Sadece ana faktörleri inceleyen bu iki testten, Tukey HSD alt grup ayrımını kendisi yapar. Faktör etkileşimleri durumunda farklılıkların belirlenmesi için SPSS GLM Univariate uygulamasında ayarlanmış ortalamaları kullanan TMO (Örneğin: Bonferroni seçimli) analizini seçmek gerekmektedir. TMO Bonferroni ile alt grup ayrılması verilmemektedir fakat alt grup ayrılmaları, farklılıkların açıklandığı ikili karşılaştırma tablolarından faydalanılarak, el ile yapılabilir.

Gerçek etkiyi ortaya çıkarma yeteneği olarak ifade edilen istatistiksel gücü belirleyen üç ana parametre, anlamlılık seviyesi (α), örneklem hacmi (n) ve etki büyüklüğüdür (*Effect size*) [28]. Etki büyüklüğü son yıllarda istatistiksel güç ve meta analiz çalışmalarında kullanıldığı için önem verilen bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır [29]. ANOVA hesaplamalarını temel alan eta kare (η^2 , SS_{etki}/SS_{toplam}) ve kısmi eta kare (η_p^2 , $SS_{etki}/(SS_{etki}+SS_{hata})$) en sık kullanılan etki büyüklüklerindedir [30]. η_p^2 , SPSS ANOVA ile doğrudan, η^2 ise ANOVA tablosundan hesap ile elde edilebilirler. Tek faktörlü ANOVA için iki etki değeri birbirine eşittir fakat çok faktörlü ANOVA için farklıdır. Jacob Cohen (1988) tarafından verilen etki büyüklüğü eşik değerlerinin (η^2 : Küçük (0.01), Orta (0.06), 0.14 (Büyük)) kullanımında iki etki büyüklüğünün birbirinin yerine yanlış kullanımı söz konusu olmaktadır [31]. Cohell ve ark. (2020)'nin açıklamalarına göre bu eşik değerlerinin güç analizinde kullanılması sakıncalıdır [32]. Fitz ve ark. (2011)'na göre ise η^2 , aynı çalışma içindeki faktör etkilerini karşılaştırmak için kullanılabilir fakat tasarımı farklı çalışmaların karşılaştırılmasında ek ya da kontrol değişkenlerin etkisi nedeniyle uygun olmayabilir. Farklı tasarımların karşılaştırılması için η_p^2 etki değerinin kullanılması daha uygundur fakat SS_{hata} terimlerinin birbiri ile karşılaştırılabilir olması gerekmektedir [33].

Bu çalışmada demlikte demleme yöntemi göz önüne alınarak durgun şartlarda, değişen demleme süresi, çay/su ve dem/kloroform oranının çayda analiz edilen kafeinin miktarına etkisinin incelemek amaçlanmıştır. Ölçümlerin yorumları iki faktörlü ANOVA kullanılarak irdelenmiş, etki faktörleri ile beraber incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çaydanlık-demlik sistemi durgun koşullarında deme geçen kafeinin analizi için üç farklı sıcaklıkta, farklı demleme ve analiz şartları için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çaydanlık-demlik sisteminde hiçbir zaman 30 ve 60 °C'de demleme yapılmaz fakat ısı kapatıldığında su ve demin sıcaklığı 60 °C ya da daha altına düşebilir. Bu çalışmada düşük sıcaklıkların kullanılmasının nedeni farklı sıcaklıklarda çay/su oranı, demleme süresi ve dem/çözücü faktörlerinin etkisini açıkça görebilmektir. Kaynama nedeniyle demleme ortamının hareketlenmesi ve demden suyun buharlaşmasının önüne geçilmesi için en yüksek sıcaklık olarak 90 °C seçilmiştir. Çalışmada, ülkemizde çok tüketilen bir dökme çay olan Çaykur Tiryaki kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda standart çözeltilerin hazırlanması için Fluka marka saf kafein, kafeinin demden çekilebilmesi için Merck marka saf kloroform kullanılmıştır. Saf kafein ile hazırlanan kalibrasyon çözeltilerinin absorpsanları UV-Vis spektrofotometre ile ölçülerek, kafein kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur. Demleme işlemi sırasında karıştırma uygulanmamış; işlem, etüvde balon jöjelerde saf su kullanarak yapılmıştır. Demleme süresi sonunda çay taneleri süzülüş, elde edilen demlerdeki kafein, kloroform ile organik faza alınmış ve absorpsanları ölçülerek, %kafein değerleri elde edilmiştir. Tüm çalışmalarda, kafeinin su ortamına geçirilmesi "demleme", demdeki kafeinin kloroform ile alınması "ekstraksiyon" olarak adlandırılmıştır. Demleme işlemlerinde çay/su oranı (katı/sıvı) K/S, ekstraksiyon işlemindeki dem/kloroform oranı ise D/K olarak kısaltılmıştır.

A. Kalibrasyon Grafiğinin Oluşturulması

1mL'sinde 0.4 mg kafein içeren standart stok çözeltisinden 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, ve 0.45 mL hacim 10 mL'lik balon jöjelere konulmuş; kloroform ile 10 mL'ye tamamlanarak kalibrasyon çözeltileri elde edilmiştir. UV-Vis spektrofotometre cihazında kör numune olarak saf kloroform kullanılmış, kalibrasyon çözeltilerinin absorpsansı 200-400 nm dalga boyu aralığında taranmış ve en yüksek absorpsan değeri (λ_{max}) için dalga boyu değeri (274 nm) belirlenmiştir. Çözelti konsantrasyonlarına karşılık, absorpsan değerleri grafiğe geçirilerek kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Doğrusallık, Gözlemeleme Sınırı (LOD=3.3 σ /b) ve Ölçüm Alt Sınırı (LOQ=10 σ /b) hesaplamaları için uygulanan Lineer Regresyon analizi, SPSS (ver.23) programı kullanılarak yapılmıştır. LOD ve LOQ formüllerinde σ , kalibrasyon doğrusu analitik yanıtın standart sapması olup, y-artıklar

(y-residuals) ait standart sapma ($S_{y/x}$) ya da y-kesişimlere (y-intercepts) ait standart sapma (S_a) alınarak hesaplanabilir [34-36]. Formüllerde b ise kalibrasyon doğrusunun eğimidir.

B. K/S Oranının Etkisi

Farklı K/S oranlarının demlemeye etkisinin incelenmesi için 30, 60 ve 90 °C’lerde, 1/100, 2/100, 3/100, 4/100 K/S oranlarında (g/mL), 5 saat süre ile etüvde demleme işlemleri yapılmıştır. Demdeki kafeinin organik faza çekilmesi için 2 mL deme, 5 mL kloroform eklenerek, kapaklı cam tüpte 5 dakika süresince çalkalanmış ve üstte oluşan organik fazdan 1 mL alınarak balon jöjelere konulmuştur. Kloroform ile hacim 10 mL’ye tamamlanmış, absorbans ölçülerek % kafein değerleri hesaplanmıştır.

C. Demleme Süresinin Etkisi

1/100 K/S oranı için, 30, 60 ve 90 °C’lerde, 1, 2, 3, 4 ve 5 saat süre ile etüvde çalışılmıştır. Demdeki kafeinin ekstraksiyonu için 2 mL deme, 5 mL kloroform eklenerek, kapaklı cam tüpte 5 dakika süresince çalkalanmış ve üst kısımdaki organik fazdan 1 mL alınarak kloroform ile 10 mL’ye tamamlanmış, absorbans ölçülerek % kafein değerleri hesaplanmıştır.

D. D/K Oranının Etkisi

1/100 K/S oranı için, 30, 60 ve 90 °C’lerde, 5 saat demleme yapılmıştır. 1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5 D/K (mL/mL) oranları ile kafein ekstrakte edilmiş, organik fazdan 1 mL alınarak 10 mL’ye kloroform ile tamamlanmış, absorbans ölçümünden hareketle % kafein değerleri hesaplanmıştır.

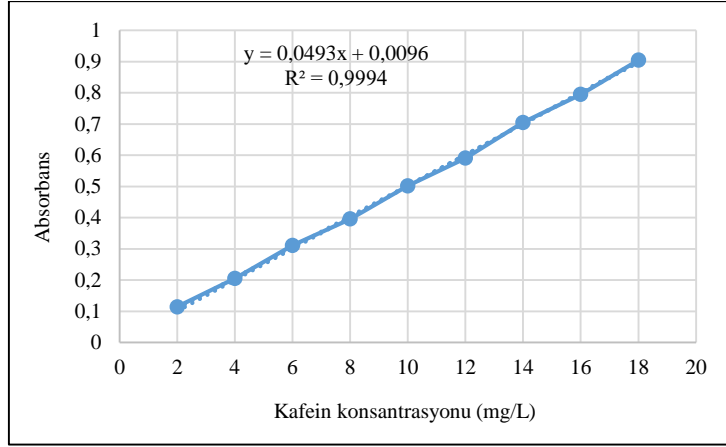
E. İstatistiksel Analizler

Analizler üç tekrarlı yapılmış ve sonuçlar ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. SPSS (ver.23) paket programında iki faktörlü ANOVA (*SPSS GLM Univariate*) kullanılarak, üç çalışma için (K/S, Süre ve D/K) istatistiksel incelemeler yapılmıştır. ANOVA analizleri öncesinde SPSS ile tüm veriler ve iki faktöre ait veriler için tanımlayıcı istatistikler hesaplanmış, dağılımların normalliği Shapiro-Wilk (W), varyansların homojenliği ise Levene’s (L) testi ile incelenmiştir ($p < 0.05$). İki faktörlü ANOVA ile anlamlılık değerleri ve etki büyüklükleri (η^2 ve η_p^2) kullanılarak faktörler ve etkileşimlerinin kafein yüzdesine etkisi yorumlanmıştır. Post hoc (Tukey HSD ve Bonferroni seçimli) ve TMO (Bonferroni seçimli) testleri ile ikili ve/veya çoklu karşılaştırmalar incelenmiş, alt grup (*subsets*) sınıflarına ait harflendirmeler yapılarak farklılıklar incelenmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. Kalibrasyon Grafiği, Ölçüm Aralığı, LOD ve LOQ

Kalibrasyon çözeltilerinin UV-Vis spektrofotometre cihazında okunan absorbansları ile elde edilen kalibrasyon grafiği Şekil 1’de sunulmuştur. Literatürde kafein için 273.5 nm [37], 270 nm [38] ve 260 nm [27] dalga boyu ölçümlerine rastlanmaktadır. Bu çalışmada kalibrasyon çözeltileri ve çay numuneleri ile yapılan ölçümlerde, pikin en yüksek değeri 276 nm dalga boyunda izlenmiş ve absorbans değerleri bu dalga boyunda alınmıştır. Kalibrasyon çözeltilerinin absorbans-konsantrasyon değerleri doğrusal bir bağlantı vermektedir ($r^2=0.9994$). Doğrusallık aralığı 2-18 mg/L’ dir. S_a ile hesaplanan LOD ve LOQ değerleri sırasıyla 0.338 mg/L ve 1.025 mg/L’ dir. Dobrinas ve ark. (2013)’ nın çay demindeki kafeinin analizinde UV spektrofotometre için aynı yöntemle hesapladıkları LOD ve LOQ değerleri sırasıyla 0.85 ve 1.52 mg/L’ dir [37]. Farklı cihazlar ve kalibrasyon çözücülerin kullanılması ya da LOD ve LOQ hesaplamalarında kullanılan yöntemlerin değişik olması değerlerde farklılıklar yaratabilir. Gaz kromatografisi ile oldukça düşük LOD (0.02 mg/L) ve LOQ (0.05 mg/L) değerleri elde edilebilir [39]. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, UV spektrofotometre yanı sıra, HPLC ve FTIR gibi cihazlarda saptanan LOD ve LOQ değerleri ile yarışabilmektedir (LOD ve LOQ için sırasıyla; 0.12, 0.4 mg/L (HPLC) [40], 0.5, 2.1 mg/L (HPLC) [41], 1, 3.4 mg/L (FT IR) [42]). 0.338 mg/L LOD ve 1.025 mg/L LOQ değerleri, demleme ve kloroform ekstraksiyonu sonrasında cihazda ölçülen değer olarak alındığında katı çayda sırasıyla % 0.0845 ve % 0.25 kafein değerine karşı gelmektedir (K/S=1/100; D/K:2/5; Ölçülen miktar:1 mL). Yöntem, kafeini giderilmiş kahve, bitki çayları ve az miktarda kafein içeren gıda türlerinde kafein analizi için de uygundur.



Şekil 1. Kafein kalibrasyon grafiği

B. K/S Oranının Etkisi

K/S oranının etkisinin incelendiği bu deney grubunda (N=36) %kafein için en düşük değer %0.931, en yüksek değer %2.6, aralık 1.669, ortalama ise 1.589 ± 0.425 'dir. Shapiro-Wilk (W) testine göre dağılım normaldir ($W(36)=0.966$, $p=0.327$). K/S oranı (satırlar) ve sıcaklık (sütunlar) için Shapiro-Wilk testine göre %kafein değerlerinin dağılımı 1/100 oranı hariç normaldir. Bu oran için anlamlılık ($p=0.046$) 0.05'e çok yakın ve çarpıklık (Skewness) +1.5'ten küçük (0.857), basıklık (Kurtosis) ise -1.5'ten küçük (-1.087) olduğundan normal dağılım kabul edilmiştir. ANOVA testi normallik ve varyansların homojenliği bozulmalarına karşı dirençli bir testtir [43, 44]. Bu nedenle, yapılan kabul ANOVA uygulamasını etkilemeyecektir. K/S oranı 1/100, 2/100, 3/100, 4/100 ve 30, 60 ve 90 °C sıcaklıkları için, Shapiro-Wilk istatistik sonuçları sırasıyla, $W(9)_{1/100}=0.831$, $p=0.046$; $W(9)_{2/100}=0.884$, $p=0.173$; $W(9)_{3/100}=0.857$, $p=0.090$; $W(9)_{4/100}=0.869$, $p=0.120$; $W(12)_{30\text{ °C}}=0.921$, $p=0.292$; $W(12)_{60\text{ °C}}=0.888$, $p=0.110$; $W(12)_{90\text{ °C}}=0.878$, $p=0.083$ şeklindedir. K/S oranı ve sıcaklık için Levene's (L) testine göre (sırasıyla, $F(3,32)=0.515$, $p=0.675$; $F(2,33)=1.199$, $p=0.314$) varyansların homojenliği şartı sağlanmıştır.

SPSS ile İki faktörlü ANOVA analizinde K/S ve sıcaklık faktörlerinin ana etkileri ve etkileşimleri incelenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen %kafein değerleri ve ANOVA sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur. İki faktörlü ANOVA uygulamasında yer alan Levene's testine göre de varyansların homojenliği sağlanmıştır ($p=0.052$). % kafein değerleri için sıcaklık, K/S ve etkileşimleri için anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0.001$). η^2 ve η_p^2 değerlerine göre sıcaklık etkisinin K/S etkisinden daha büyük olduğu izlenebilir. Etkileşim için ise faktörlere göre daha düşük etki değerleri elde edilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, tüm sıcaklıklar için K/S oranının artışı ile daha düşük %kafein değerleri ölçüldüğü görülebilir. Ayrıca her bir oran için, sıcaklık artışı ile daha yüksek % kafein değerleri elde edilmiştir.

Tablo 1. K/S oranının etkisi deneylerine ait şartlar ve iki faktörlü ANOVA sonuçları

K/S*	Sıcaklık (°C)				İki Faktörlü ANOVA
	30 ^a (%)	60 ^b (%)	90 ^c (%)		
1/100 ^a	1.432±0.058 ^{a,a}	1.628±0.020 ^{a,b}	2.421±0.185 ^{a,c}	L**	F(11,24)=2.194, p=0.052
2/100 ^b	1.175±0.027 ^{b,a}	1.610±0.023 ^{a,b}	2.035±0.059 ^{b,c}	A***, Sıcaklık	F(2,24)=545.80, p<0.001; $\eta^2=0.823$, $\eta_p^2=0.978$
3/100 ^c	1.071±0.076 ^{bc,a}	1.370±0.050 ^{b,b}	2.034±0.040 ^{b,c}	A, K/S	F(3,24)=57.71, p<0.001; $\eta^2=0.13$, $\eta_p^2=0.878$
4/100 ^c	0.972±0.039 ^{c,a}	1.464±0.048 ^{b,b}	1.853±0.021 ^{c,c}	A, Sıcaklık x K/S	F(6,24)=6.20, p<0.001; $\eta^2=0.028$, $\eta_p^2=0.608$
				A, Hata	$\eta^2=0.019$

*Demleme süresi: 5 saat; D/K:2/5; Ölçülen miktar:1 mL; **Levene's İstatistiği; ***ANOVA istatistiği; K/S için aynı sütunda birinci, sıcaklık için aynı satırda ikinci harflendirmede, farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (TMO Bonferroni, $p<0.05$).

Sıcaklık ve K/S oranlarında anlamlı fark yaratan değerlerin saptanması için yapılan SPSS GLM Univariate Post hoc (Tukey HSD ve Bonferroni seçimli) ve TMO (Bonferroni seçimli) ile yapılan test sonuçları aynı olup, farklı sıcaklıklarda elde edilen %kafein ortalamaları birbirinden farklıdır. Bu durumda alt grup (subsets) sınıflandırması ile 30 °C ortalaması (a), 60 °C (b) ve 90 °C (c) olarak harflendirilebilir. K/S için ise 3/100 ve 4/100 oranları aynı olup, 1/100, 2/100 oranlarından farklıdır ve alt grup sınıflandırılması 1/100 (a), 2/100 (b), 3/100 (c), 4/100 (c) olarak yapılabilir. Harfler, Tablo 1'de sıcaklık ve K/S başlıklarında sunulmuştur.

Etkileşim için TMO ikili karşılaştırmaları her bir satır ve sütun için yapılabilmektedir. Örneğin: 30 °C için tüm oranlardaki kafein yüzdeleri karşılaştırılabilir ya da 1/100 oranının üç sıcaklıktaki %kafein değeri

karşılaştırılabilir. Sıcaklık x K/S etkileşimi için TMO (Bonferroni seçimli) ikili karşılaştırmaları Tablo 1’de sunulmuştur. % kafein değerlerinden sonra eklenen birinci harf ya da harf grubu K/S (sütunlar) farklılıklarını, 2. harf ise sıcaklık (satırlar) farklılıklarını göstermektedir. K/S oranlarında 60 °C için sadece iki alt grup oluşmuştur fakat 30 ve 90 °C alt grup sayısı ikiden fazladır. Durgun şartlarda yapılan kafein analizinde uygulanan K/S oranı seçiminde sıcaklık göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, 30 °C’de yapılan çalışmada 4/100 oranı için oldukça düşük kafein yüzdesi elde edilmiştir (%0.972). Diğer şartların (süre, D/K, ölçülen miktar) aynı olduğu göz önüne alınarak, aynı sıcaklıklarda K/S oranı artsa bile eşit kafein yüzdesinin elde edilmesi gerektiği düşünülebilir fakat bu iyi bir analizci için bile oldukça zor bir işlemdir. Artan K/S oranları ile deme geçen kafein miktarı (mg kafein/100 mL dem) artmaktadır (1/100 K/S’den, 4/100 K/S oranına, 30, 60 ve 90 °C’ler için sırasıyla, 2.71, 3.60 ve 3.06 kat artış). Bu durum kloroform ile ekstraksiyon sırasında işlemi zorlaştıracak olan köpüklenme ve bulanıklığa neden olmakta, inorganik ve organik fazın ayrılması güçleşmektedir. Demdeki kafeinin artması aynı zamanda kalibrasyon doğrusunun dışına taşmaya ve hatalı absorbans değerlerinin okunmasına neden olmaktadır. 4/100 üstü K/S oranı ile çalışmak özellikle 90 °C için güvenilir sonuçlar vermeyecektir. Diğer taraftan, sabit miktar çözücü içinde kafein miktarı arttıkça konsantrasyon farkı düşecek ve kafein difüzyonu azalacaktır [37, 45]. Söz edilen açıklamalara göre, süre ve D/K oranı etkisi için K/S oranı 1/100 alınarak diğer çalışmalar yürütülmüştür.

C. Demleme Süresinin Etkisi

Demleme süresine ait çalışma kapsamında (N=45) kafein içeriği için en düşük değer %1.297, en yüksek değer %2.437, aralık 1.14, ortalama ise %1.835±0.38’dir. Shapiro-Wilk (W(45)=0.891, p<0.001) testine göre dağılım normal değildir fakat basıklık (-1.439) ve çarpıklık (0.188) değerleri (-1.5)-(+1.5) arasında olduğundan normal olarak kabul edilmiştir [43]. SPSS tanımsal istatistik analizinde, süre ve sıcaklık faktörleri için %kafein değerlerinin dağılımı Shapiro-Wilk (W) testinde 60 °C hariç normal bulunmuştur (p=0.035). Bu sıcaklığa ait basıklık ve çarpıklık değerleri sırasıyla, -0.497 ve -0.903 olup, (-1.5)-(+1.5) arasındadır ve normal dağılım kabul edilebilir [43, 44]. 1, 2, 3, 4, 5 saat ve 30, 60, 90 °C sıcaklıkları için, Shapiro-Wilk istatistik sonuçları sırasıyla, W(9)_{1 saat} =0.850, p=0.074; W(9)_{2 saat} =0.868, p=0.116; W(9)_{3 saat} =0.880, p=0.156; W(9)_{4 saat} =0.847, p=0.069; W(9)_{5 saat} =0.901, p=0.256; W(15)_{30 °C} =0.971, p=0.868; W(15)_{60 °C} =0.871, p=0.035; W(15)_{90 °C} =0.952, p=0.564 olarak bulunmuştur. Süre ve sıcaklık için, Levene’s (L) testine göre (sırasıyla, F(4,40) =0.203, p=0.935 ve F(2,42) =0.052, p=0.95) varyansların homojenliği şartı sağlanmıştır.

SPSS ile İki faktörlü ANOVA analizinde, sıcaklık ve süre faktörlerinin ana etkileri ve etkileşimleri incelenmiştir. Deneylerde elde edilen %kafein değerleri ve ANOVA sonuçları Tablo 2’ de görülmektedir. Levene’s test istatistiği anlamlılık değeri p=0.044’dır. Değer 0.05’e çok yakın ve ANOVA, varyansların homojenliği bozulmalarına karşı dirençli bir test olduğu için homojenlik varsayımı kabul edilmiştir [44]. ANOVA analizine göre sıcaklık ve süre faktörleri için % kafein miktarlarında anlamlı farklılıklar bulunmaktadır (p<0.001).

Tablo 2. Demleme süresinin etkisi deneylerine ait şartlar ve iki faktörlü ANOVA sonuçları

Süre* (saat)	Sıcaklık (°C)			İki Faktörlü ANOVA	
	30 ^a (%)	60 ^b (%)	90 ^c (%)		
1 ^a	1.307±0.014 ^{a,a}	1.672±0.027 ^{a,b}	2.301±0.086 ^{a,b,c}	L**	F(14,30)=2.094, p=0.044
2 ^b	1.382±0.013 ^{ab,a}	1.835±0.013 ^{b,b}	2.301±0.058 ^{ab,c}	A***, Sıcaklık	F(2,30)=1494.74, p<0.001; η ² =0.968, η _p ² =0.99
3 ^b	1.452±0.047 ^{b,a}	1.838±0.026 ^{b,b}	2.375±0.054 ^{b,c}	A, Süre	F(4,30)=9.415, p<0.001; η ² =0.012, η _p ² =0.557
4 ^b	1.413±0.011 ^{ab,a}	1.802±0.023 ^{b,b}	2.326±0.029 ^{ab,c}	A, Sıcaklık x Süre	F(8,30)=3.76, p=0.004; η ² =0.0097, η _p ² =0.501
5 ^b	1.487±0.059 ^{b,a}	1.781±0.071 ^{ab,b}	2.244±0.055 ^{a,c}	A, Hata	η ² =0.0104

*K/S: 1/100; D/K:2/5; Ölçülen miktar:1 mL; **Levene’s İstatistiği; ***ANOVA istatistiği; Süre için aynı sütunda birinci, sıcaklık için aynı satırda ikinci harflendirilmedi, farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (TMO Bonferroni, p<0.05)

Sıcaklık x süre etkileşimi için de anlamlı fark elde edilmiştir (p=0.004). η² ve η_p² etki büyüklüğü değerleri incelenirse, sıcaklık için daha büyük, süre ve etkileşim için ise daha düşük değerler elde edildiği görülebilir. Tablo 2 incelendiğinde, tüm demleme süreleri için sıcaklık arttıkça % kafein değerlerinin arttığı açıkça görülebilir. Ayrıca her sıcaklık için demleme süresinin artması ile hesaplanan % kafein değerleri artış eğilimi göstermektedir. Sıcaklık ve süre ana etkileri için farklılığa yol açan değerlerin saptanmasında uygulanan SPSS GLM Univariate Post hoc testleri (Tukey HSD ve Bonferroni seçimli) ve TMO (Bonferroni seçimli) ile yapılan analiz sonuçları aynı olup, farklı sıcaklıklarda elde edilen % kafein değerleri birbirinden farklıdır. Alt grupların (subsets) sınıflandırması için, 30 °C ortalaması (a), 60 °C (b) ve 90 °C (c) harflendirilmesi kullanılabilir. Aynı şekilde süre için yapılan çoklu karşılaştırma testlerinde 1 saat süresine ait % kafein değeri diğerlerinden farklı olup, alt grup sınıflandırılması 1 saat (a), 2, 3, 4 ve 5 saat (b) olarak harflendirilebilir. Harfler, sıcaklık ve süre faktörleri için Tablo 2 başlıklarında verilmiştir. Sıcaklık x süre etkileşimi için uygulanan TMO (Bonferroni seçimli) ikili karşılaştırma sonuçlarına göre, Tablo 2’deki % kafein değerlerinden sonra eklenen birinci harf ya da harf grubu süre (sütunlar) farklılıklarını, ikinci harf ise sıcaklık (satırlar) farklılıklarını göstermektedir. Bu sonuçlara göre, durgun şartlarda

yapılan kafein analizinde uygulanacak sürenin sıcaklık şartına bağlı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Düşük sıcaklıklarda çalışılacak ise demleme süreleri uzun olmalı, yüksek sıcaklık için ise 1 saat yeterli olabilmektedir. Örneğin, 30 °C'de yapılan çalışmada 4 saatlik süre sonunda bile diğer sıcaklıkların 1 saatlik % kafein değerlerine ulaşamamıştır. Benzer sonuçlar farklı araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir. Najafi ve ark. (2003) 2/150 katı/sıvı oranında 90 °C'de etüvde demleme ve 120 °C'de kaynatma işlemleri ile 20 dak. sonunda tüm kafeinin dem içine alınabileceğini açıklamış, kaynatma işleminin kafeinin deme geçişinin hızlandırdığını açıklamıştır [8]. Bir diğer çalışmada, Ramalho vd. (2013) 2/200 katı/sıvı oranı ve 100 °C demleme sıcaklığı için en yüksek kafein değerini Brezilya çayı (%5.3 kafein içerikli) için 20 dak., İngiliz çayı (%4.5 kafein içerikli) için 10 dak. demleme sürelerinde tespit etmiştir [46]. Kaynama sıcaklığının uygulanması, demleme süresini dakika birimine düşürebilir [15]. Kafeinin çaydan deme geçen oranı 5 dak. demleme ile % 90' ın üstüne çıkar [18]. Türk çayı ile kaynama sıcaklığında (K/S=1/300) çaydanlık ve demlik kullanılarak geleneksel demleme yöntemi ile yapılan bir çalışmada %kafein değeri 5 dak. demleme ile %2.39 olup, süre arttıkça kafein miktarı düşmüş ve 60 dak. sonunda %2.19 olarak bulunmuştur [47]. Türk çayı için bu çalışmada 90 °C de durgun şartlarda uzun demleme sürelerinde (1-5 saat) sözü edilen kafein değerlerine yakın değerler elde edilmiştir (Tablo 2). Kaynama aynı zamanda demlik içinde çay tanelerinin hareketine de sebep olup kafeinin suya geçişini hızlandırabilir. Bu çalışmada belirlenen diğer faktörler (K/S, D/K) yine belirlenen üç farklı sıcaklık için çalışılacağından demleme süresi 5 saat seçilip deneyler gerçekleştirilmiştir.

D. D/K Oranının Etkisi

D/K oranının %kafein değerine etkisinin incelenmesi için, sabit demleme süresinde (5 saat), K/S oranı 1/100 için 1/5, 2/5, 3/5, 4/5 ve 5/5 D/K oranlarında çalışmalar yapılmıştır. Bu deney grubunda (N=45) %kafein için en düşük değer %1.333, en yüksek değer %2.02, aralık 0.687, ortalama ise %1.654±0.199'dur. Shapiro-Wilk (W) testine göre dağılım normaldir (W(45)=0.95, p=0.051). D/K oranı ve sıcaklık için ise %kafein dağılımı 4/5 oranı hariç normaldir. Bu oran için basıklık -1.5' tan biraz büyük (-1.590) olmasına rağmen, anlamlılık 0.05'e yakın (p=0.042) ve ANOVA analizinin normallik bozulmalarına karşı güçlü bir test olması nedeniyle normallik varsayımı kabul edilmiştir. D/K oranı 1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5 ve 30, 60, 90 °C sıcaklıkları için, Shapiro-Wilk istatistik sonuçları sırasıyla, W(9)_{1/5}=0.877, p=0.147; W(9)_{2/5}=0.891, p=0.203; W(9)_{3/5}=0.840, p=0.057; W(9)_{4/5}=0.828, p=0.042; W(9)_{5/5}=0.911, p=0.324, W(15)_{30 °C}=0.963, p=0.740; W(15)_{60 °C}=0.930, p=0.275; W(15)_{90 °C}=0.935, p=0.327, şeklindedir. D/K oranı ve sıcaklık için Levene's (L) testine göre (sırasıyla, F(4,40)=2.525, p=0.056; F(2,42)=0.652, p=0.526) varyansların homojenliği şartı sağlanmıştır.

Sıcaklık ve D/K faktörlerinin ana etkileri ve etkileşimlerini incelemek için yapılan İki faktörlü ANOVA analiz sonuçları ve deneylerde elde edilen % kafein değerleri Tablo 3'te sunulmaktadır. İki faktörlü ANOVA Levene's testine göre de varyansların homojenliği sağlanmıştır (p=0.287). Tablo 3 incelendiğinde sıcaklık arttıkça % kafein miktarının arttığı izlenebilir. D/K oranının artması ile % kafein değerlerinin değişimine ait yorum yapmak zordur fakat 90 °C için 5/5 oranında diğer oranlara göre düşük % kafein değeri dikkat çekmektedir. İki faktörlü ANOVA analizine göre sıcaklık için fark anlamlıdır (p<0.001) fakat D/K oranı için anlamlı fark bulunmamaktadır (p=0.052). Sıcaklık x D/K etkileşimi için ise anlamlı fark elde edilmiştir (p<0.001). η^2 ve η_p^2 etki büyüklükleri incelenirse, sıcaklık için daha büyük, D/K ve etkileşim için ise daha düşük değerler elde edildiği görülebilir. Sıcaklık ve D/K ana faktörleri için uygulanan Post hoc testleri (Tukey HSD ve Bonferroni seçimli) ve TMO (Bonferroni seçimli) sonuçları aynı olup, farklı sıcaklıklarda elde edilen kafein değerleri birbirinden farklıdır.

Tablo 3. D/K oranının etkisi deneylerine ait şartlar ve iki faktörlü ANOVA sonuçları

D/K ^e	Sıcaklık (°C)				İki Faktörlü ANOVA
	30 ^a (%)	60 ^b (%)	90 ^c (%)		
1/5 ^a	1.349±0.015 ^{a,a}	1.698±0.009 ^{b,b}	1.956±0.052 ^{bc,c}	L**	F(14,30)=1.261, p=0.287
2/5 ^a	1.402±0.042 ^{ab,a}	1.582±0.052 ^{a,b}	1.895±0.032 ^{bc}	A***, Sıcaklık	F(2,30)=695.29, p<0.001; $\eta^2=0.868, \eta_p^2=0.979$
3/5 ^a	1.481±0.029 ^{b,a}	1.580±0.027 ^{a,b}	1.880±0.026 ^{bc}	A, D/K	F(4,30)=2.66, p=0.052; $\eta^2=0.0068, \eta_p^2=0.262$
4/5 ^a	1.450±0.019 ^{bc,a}	1.587±0.021 ^{a,b}	1.977±0.040 ^{c,c}	A, Sıcaklık x D/K	F(8,30)=21.32, p<0.001; $\eta^2=0.1066, \eta_p^2=0.850$
5/5 ^a	1.536±0.045 ^{c,a}	1.680±0.029 ^{b,b}	1.749±0.014 ^{a,c}	A, Hata	$\eta^2=0.0189$

*Süre: 5 saat; K/S: 1/100; Ölçülen miktar:1 mL; **Levene's İstatistiği; ***ANOVA istatistiği; D/K için aynı sütunda birinci, sıcaklık için aynı satırda ikinci harflendirilmede, farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak farklıdır (TMO Bonferroni, p<0.05).

Alt gruplar (subsets) için, 30 °C ortalaması (a), 60 °C (b) ve 90 °C (c) harflendirilmesi kullanılabilir. D/K oranı için ise anlamlı fark olmadığından Post hoc testlerini uygulamaya gerek yoktur ve tüm D/K değerleri aynı alt grupta bulunacaktır (a). Harfler, sıcaklık ve D/K faktörleri için Tablo 3 başlıklarında verilmiştir. Sıcaklık x D/K etkileşimi için TMO Bonferroni ikili karşılaştırmalarında % kafein değerlerinden sonraki 1. harf (ya da harf grubu) D/K (sütun) farklılıklarını, 2. harf ise sıcaklık (satır) farklılıklarını göstermektedir. Bu analize göre 60 °C de diğer sıcaklıklara göre daha az sayıda alt grup oluşmuştur. %kafein değerleri 30 °C için artan D/K oranı ile artma, 90

°C'de ise azalma eğilimi göstermektedir. Artan dem hacmi aynı miktar kloroform ile ekstrakte edildiği için, 1/5 oranından 5/5 oranına çıktığında, ölçülen miktardaki (1mL) kafein, ekstraksiyon başarısına bağlı olarak yaklaşık 5 kat artacaktır. 90 °C için 5/5 oranındaki düşük % kafein değeri hem kloroform miktarının kafeini ekstrakte etme yetersizliği hem de kafein ve deme geçen diğer bileşiklerin yüksek miktarlarından kaynaklanan köpüklenme sebebiyle olabilir. Bu nedenle sıcaklık arttıkça 5/5 D/K oranının kullanılması hatalı sonuçlara yol açabilir. Ayrıca, Seylan çayı gibi yüksek kafein içerikli bir çay için, 5/5 oranı ile yüksek sıcaklıkta çalışmak kalibrasyon doğrusu dışına taşmaya da neden olabilir. 30 °C çalışmasında analizi engelleyecek bir köpüklenme izlenmemiş, kalibrasyon konsantrasyonları dışına taşma olmamıştır, dolayısıyla bu sıcaklık için sözü edilen nedenler %kafein artışını açıklamak için kullanılamaz. Yüksek D/K oranlarında sözü edilen problemler 2/5 ve 3/5 oranlarında TMO Bonferroni Post Hoc testlerine göre farklılık izlenmediğinden 2/5 oranı alınarak çalışmalar yürütülmüştür.

Cohen eşik değerleri kullanılsa bile, η^2 , ANOVA hesaplamalarında etkilerin toplam değişkenlikteki yüzdesi olarak tanımlandığından (SS_{etki}/SS_{toplam}), çalışma içi ve çalışmalar arası karşılaştırmalar yapılabilir. Her grup çalışma için K/S, süre ve D/K etkisi sıcaklığın etkisinden düşüktür. Gruplar birbiri ile karşılaştırılırsa sıcaklığa göre diğer faktörlerin etki değeri sıralamasının K/S>süre>D/K olduğu açıkça görülebilir. D/K faktörü istatistiksel olarak farklı olmadığından η^2 ve η_p^2 etki değerlerinin düşük olması normaldir. D/K oranının incelendiği çalışmada D/K faktörü, hata ve toplam kareler toplamı değerleri diğer çalışmalara göre çok düşüktür (sırasıyla, 0.012, 0.033, 1.754). Sıcaklık faktörü toplam kareler toplamının büyük bir kısmını oluşturmaktadır fakat diğer gruplardaki çalışmalara göre (K/S ve süre) etkileşimin etki değerlerini artıran ana unsur etkileşime ait kareler toplamının yüksek olmasıdır (K/S, süre ve D/K için sırasıyla; 0.177, 0.062, 0.187). η^2 , K/S ve süre için yaklaşık on kat, K/S ve D/K için yirmi kat, süre ve D/K için ise iki kat farklıdır. K/S ve süre etkisinin incelendiği çalışmalarda toplam kareler toplamı (SS_{toplam}) hemen hemen eşit bulunmuştur (K/S: 6.322; süre: 6.353). Bu iki çalışmada hatalar için η^2 değerlerinde yaklaşık 2 kat farklılık vardır (sırasıyla, 0.019, 0.0104). K/S ve süre faktörlerinin farklılığı yanı sıra ve hata terimlerinin kareler toplamı farklılığı nedeniyle η^2 değerleri farklı bulunmuştur. Fritz' in önerilerine göre üç çalışmaya ait η_p^2 karşılaştırması yapılmak istenirse, sıralama yine değişmeyecektir fakat SS_{hata} değerlerinin karşılaştırılabilir olduğu düşünülmektedir (sırasıyla, 0.114, 0.062, 0.033).

Türk çayı için genellikle kaynama sıcaklığı ve kısa demleme sürelerinin uygulandığı diğer çalışmalarda elde edilen kafein miktarları bu çalışma değerleri ile karşılaştırılacak olursa, 90 °C hariç diğer sıcaklıklarda elde edilen değerlerin düşük bulunduğu izlenebilir. Özdemir ve ark. (2018) Türk çayında kafein miktarlarını HPLC ile % 1.81–2.17 değerleri arasında bulmuştur [48]. Bir başka çalışmada ise demden (K/S: 2/100, 5 dak.) kloroform ekstraksiyonu uygulayarak UV spektrofotometre cihazı ile % 1.43-2.28 arasında bulmuşlardır [49]. Attila ve ark (2022) tarafından yapılan çalışmada %2.58 kafein değeri bildirilmiştir [47]. Erol ve ark. (2010) ise % 2.3-2.6 değerleri arasında daha yüksek kafein miktarları bildirmişlerdir [50]. Kaynama sıcaklığı ve karıştırma uygulanarak %kafein değerlerinin incelenmesi faydalı olacaktır.

IV. SONUÇLAR

Durgun koşullarda deme geçen kafeinin analizi, farklı demleme ve analiz koşulları için üç farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. K/S, süre ve D/K faktörlerinin incelendiği üç grup için, sıcaklık ana etkisi istatistiksel olarak farklıdır. Sıcaklık artışı ile % kafein değerleri artmaktadır. ANOVA analizlerinde üç gruptaki çalışma için de sıcaklık ana etkisi yüksektir fakat en büyük etki demleme süresinin çalışıldığı grupta izlenmiştir ($\eta^2=0.968$, $\eta_p^2=0.99$). K/S ve süre ana etkileri için farklılık ($p<0.001$) vardır fakat D/K oranı için farklılık izlenmemiştir ($p=0.052$). Üç faktör için en yüksek etki değeri K/S oranı için bulunmuştur ($\eta^2=0.13$, $\eta_p^2=0.878$). En düşük ana etki değerleri doğal olarak D/K oranı çalışması için bulunmuştur ($\eta^2=0.0068$, $\eta_p^2=0.262$) çünkü anlamlı farklılık yoktur. Her sıcaklık için K/S oranı arttıkça %kafein azalma eğilimindedir. Demleme süresi sıcaklığa çok bağlı olup, düşük sıcaklıklar uzun süre gerektirmektedir. 90 °C'de ise tüm sürelerdeki kafein miktarı istatistiksel olarak farklı değildir. Üç faktörün tüm sıcaklıktaki etkileri izlenmek istendiğinden 5 saat süre ile çalışılmıştır fakat 90 °C ve üstü sıcaklıklarda çalışılacak ise durgun şartlarda 1 saat demleme süresi yeterli olabilir. D/K oranı ana etkisi için anlamlı bir fark bulunmamasına rağmen etkileşimde en yüksek etki büyüklüğü sıcaklık x D/K için bulunmuştur ($\eta^2=0.1066$, $\eta_p^2=0.850$). Düşük sıcaklıkta D/K oranı arttıkça %kafein değeri artmaktadır fakat yüksek sıcaklıklarda sonuçlar benzerdir. 90 °C'de ani düşme gösteren %kafein miktarı ve köpüklenme gibi deneysel gözlemler de göz önünde bulundurularak yüksek sıcaklıklar için 5/5 oranının kullanılmasının yanlış ölçümlere sebep olacağı bilinmelidir. Elde edilen düşük LOD ve LOQ değerlerine göre bu yöntem kafeini giderilmiş çay ve kahve, bitki çayları ve gıda ürünleri için de uygulanabilir. Kaynama sıcaklığı ve karıştırma gibi kafein difüzyonunu artıran şartların uygulanması ile daha yüksek kafein değerleri elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Komes, D., Horžić D., Belščak A., Ganič K. K. & Baljak, A. (2009). Determination of caffeine content in tea and maté tea by using different methods, *Czech Journal of Food Sciences*, 27, 213-216.
- [2] Gerald, I., Arthur, D. E., & Adedayo, A. (2014). Determination of caffeine in beverages: A review. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 3(8), 124-137
- [3] Hancı, M., Bakırcı, S., Bayram S., Karahan S., & Kaya, E. (2013). Türk kahvesi ve Türkiye’de satılan bazı içeceklerdeki kafein miktarları. *Düzce Tıp Dergisi*, 15(3), 34-38.
- [4] dePaula J., & Farah A. (2019). Caffeine consumption through coffee: Content in the beverage, metabolism, health benefits and risks. *Beverages*, 5(37), 1-50.
- [5] Lundsberg, L.S. (1998). *Caffeine consumption*, In: Spiller, G.A. (Ed). *Caffeine. 1st ed.*, Boca Raton, FL: CRC Press; 199–224.
- [6] Weldegebreal, B., Redi-Abshiro, M. & Chandravanshi, B. S. (2017), Development of new analytical methods for the determination of caffeine content in aqueous solution of green coffee beans. *Chemistry Central Journal*, 11,126.
- [7] Tfouni, S. A. V., Camara, M. M., Kamikata, K., Gomes, F. M. L. & Furlani, R. P. Z. (2018). Caffeine in teas: levels, transference to infusion and estimated intake. *Food Science and Technology*, 38(4), 661-666.
- [8] Najafi, N. M., Hamid, A. S. & Afshin, R. K. (2003). Determination of caffeine in black tea leaves by Fourier transform infrared spectrometry using multiple linear regression. *Microchemical Journal*, 75(3), 151–158.
- [9] Atalay, D., & Erge, H. S. (2017). Determination of some physical and chemical properties of white, green and black teas (*Camellia Sinensis*). *Gıda/the Journal of Food*, 42(5), 494-504.
- [10] Wong, C. C., Cheng, K. W., Chao, J., Peng, X., Zheng, Z., Wu, J., Chen, F. & Wang, F. (2009). *Analytical methods for bioactive compounds in teas*. In: Ho, C.T., Lin, J.K., Shahidi, F. (Eds). *Tea and Tea Products: Chemistry and Health–Promoting Properties*. Boca Raton, FL: CRC Press, 77–110.
- [11] Güneş, S. (2012). Türk çay kültürü ve ürünleri. *Milli Folklor*, 24(93), 234-251.
- [12] Üstün, Ç., & Demirci, N. (2013). Çay bitkisinin (*Camellia Sinensis L.*) tarihsel gelişimi ve tıbbi açıdan değerlendirilmesi. *Lokman Hekim Journal*, 3(3), 5–12.
- [13] Maughan, R.J, & Griffin, J. (2003). Caffeine ingestion and fluid balance: a review. *J Hum Nutr Diet*, 16(6), 411–20.
- [14] Sharif, R., Ahmad, S.W., Ramzan, N. & Malik, S.R. (2013). Effect of infusion time and temperature on decaffeination of tea using liquid–liquid extraction technique. *J Food Process Eng*, 37(1), 46-52
- [15] Musilová, A. & Kubíčková, A. (2018). Effect of brewing conditions on caffeine content in tea infusions simulating home-made cup of tea. *Monash Chem*, 149, 1561–1566.
- [16] Suteerapataranon, S., Butsoongnorn, J., Punturat, P., Jorpalit, W. & Thanomsilp, C. (2009). Caffeine in Chiang Rai tea infusions: Effects of tea variety, type, leaf form, and infusion conditions. *Food Chemistry*, 114, 1335–1338.
- [17] Jun, X. (2009). Caffeine extraction from green tea leaves assisted by high pressure processing. *Journal of Food Engineering*, 94(1), 105-109.
- [18] Astill, C., Birch, M.R, Dacombe, C., Humphrey, P.G. & Martin, P.T. (2001), Factors affecting the caffeine and polyphenol contents of black and green tea infusions. *J. Agric. Food Chem.* 49, 5340–5347.
- [19] Perva-Uzunalic’, A., Škerget, M., Knez, Z., Weinreich, B., Otto, F. & Grüner, S. (2006). Extraction of active ingredients from green tea (*Camellia sinensis*): Extraction efficiency of major catechins and caffeine. *Food Chemistry*, 96(4), 597–605
- [20] Rehman, R. & Ashraf, S. (2017). Analysis of caffeine contents in commercial beverages and tea samples of Pakistan using UV/Visible spectrometry. *Bulgarian Chemical Communications*, 49(4), 823 – 828.
- [21] Belay, A., Ture, K., Redi, M. & Asfaw, A. (2008). Measurement of caffeine in coffee beans with UV/VIS spectrometer, *Food Chemistry*, 108, 310–315.
- [22] Paradkar, M. M. & Irudayaraj, J. (2002). Rapid determination of caffeine content in soft drinks using FTIR–ATR spectroscopy. *Food Chemistry*, 78, 261–266.
- [23] Edwards, H. G. M., Farwell, D. W., de Oliveira, L. F. C., Alia, J-M., Hyaric, M. L., & de Ameida, M. V. (2005). FT-Raman spectroscopic studies of guarana and some extracts. *Analytica Chimica Acta*, 532(2), 177-186.
- [24] Amini, T. & Hashemi P. (2018). Preconcentration and GC–MS determination of caffeine in tea and coffee using homogeneous liquid–liquid microextraction based on solvents volume ratio alteration, *Journal of Chromatography B*, 1092, 252-257.
- [25] Bhawani, S. A., Fong, S. S., & Ibrahim, M. N. M. (2015). Spectrophotometric analysis of caffeine. *International Journal of Analytical Chemistry*, 1-7.
- [26] Atomssa, T. & Gholap, A.V. (2011). Characterization of caffeine and determination of caffeine in tea leaves using uv-visible spectrometer. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 5(1), 1-8.

- [27] Wondimkun, Z. T., Jebessa, A. G., Molloro, L. H. & Haile, T. (2016). The determination of caffeine level of Wolaïta zone, Ethiopia coffee using UV-visible spectrophotometer. *American Journal of Applied Chemistry*, 4(2), 59–63.
- [28] Özçomak, M.S. & Çebi, K. (2017). İstatiksel güç analizi: Atatürk üniversitesi iktisadi ve idari bilimler dergisi üzerine bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 31(2), 413-431.
- [29] Özsoy, S. & Özsoy G. (2013). Eğitim Araştırmalarında Etki Büyüklüğü Raporlanması. *Elementary Education Online*, 12(2), 334-346.
- [30] Norouzian, R. & Plonsky, L. (2018). Eta-and partial eta-squared in L2 research: A cautionary review and guide to more appropriate usage. *Second Language Research*, 34(2), 257–271.
- [31] Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 567.
- [32] Correll, J., Mellinger, C., McClelland, G. H. & Judd, C. M. (2020). Avoid Cohen's “small,” “medium,” and “large” for power analysis. *Trends in Cognitive Science*, 24(3), 200–207.
- [33] Fritz, C.O., Morris, P.E. & Richler, J.J. (2012). Effect size estimates: Current use, calculations and interpretation. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141, 2-18.
- [34] Shrivastava A & Gupta V.B. Methods for the determination of limit of detection and limit of quantitation of the analytical methods. (2011). *Chronicles of Young Scientists*, 2 (1), 21-25.
- [35] Miller, J. C. & Miller, J. N. (2010). *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry*.(6th ed.), New York: Pearson Education Limited.
- [36] ICH Q2 (R1): Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology. European Medicine Agency, <https://www.ema.europa.eu/en/ich-q2r2-validation-analytical-procedures-scientific-guideline>. 2023.
- [37] Dobrinas, S., Soceanu, A., Popescu, V., Stanciu, G. & Smalberger, S. (2013). Optimization of a UV-VIS spectrometric method for caffeine analysis in tea, coffee and other beverages. *Scientific Study and Research. Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 14(2), 71-78.
- [38] Khalid, A., Ahmad, S., Raza, H., Batool, M., Lodhi, R. K., Ain, Q. T. & Naseer F. (2016). Determination of caffeine in soft and energy drinks available in market by using UV/Visible spectrophotometer. *Family Medicine and Medical Science Research*, 5(4), 1-5.
- [39] Sereshti, H. & Samadi, S. Rapid and simple determination of caffeine in teas, coffees and eight beverages. (2014). *Food Chemistry*, 158, 8–13.
- [40] Sivrikaya, S., A deep eutectic solvent based liquid phase microextraction for the determination of caffeine in Turkish coffee samples by HPLC-UV. (2020). *Food additives & Contaminants: Part A*, 37(3), 488–495.
- [41] Viencz, T., Acre, L. B., Rocha, R. B., Alves, E.A., Ramalho, A. R. & Benassi M.T. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids, melanoidins, and diterpenes contents of *Coffea canephora* coffees produced in the Amazon. (2023). *Journal of Food Composition and Analysis* (17), 105140.
- [42] Ohnsmann, J., Quintás, G., Garrigues, S & Guardia, M. Determination of caffeine in tea samples by Fourier transform infrared spectrometry (2002). *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 374, 561–565.
- [43] Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2013). *Using multivariate statistics* (6th ed.). New Jersey, Pearson Education, 1072.
- [44] Leech, N.L., Barrett, K.C. & Morgan, G.A. (2005) *SPSS for Intermediate Statistics: Use and Interpretation*. 2nd Edition, Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates, 240.
- [45] Nyamiyen, Y., Adjé, F., & Niameké, F., Koffi, E., Chatigre, O., Adima, A. & Biego, H.G. (2015). Effect of Solvents and Solid- Liquid Ratio on Caffeine Extraction from Côte d’Ivoire Kola Nuts. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(1), 218–222.
- [46] Ramalho, S. A., Nigam, N., Oliveira, G. B., de Oliveira, P. A., Silva, T. O. M., dos Santos, A. G. P. & Narain, N. (2013). Effect of infusion time on phenolic compounds and caffeine content in black tea. *Food Research International*, 51, 155-161.
- [47] Polat, A., Kalcioğlu, Z. & Muezzinoğlu, N. (2022). Effect of infusion time on black tea quality, mineral content and sensory properties prepared using traditional Turkish infusion method. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 29, 100559
- [48] Özdemir, F., Nadeem, H. Ş., Akdoğan, A., Dinçer, C. & Topuz, A. (2018). Effect of altitude, shooting period, and tea grade on the catechins, caffeine, theaflavin, and thearubigin of Turkish black tea. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 42(5), 334-340.
- [49] Özdemir F, Gökalp H.Y. & Nas, S. (1993). Effects of shooting period, times within shooting periods and processing systems on the extract, caffeine and crude fiber contents of black tea. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und- Forschung*, 197, 358-362
- [50] Erol, N.T., Sari, F., & Velioglu, Y.S. (2009). Polyphenols, alkaloids and antioxidant activity of different grades Turkish black tea. *Gıda*, 35, 161–168.



Araştırma Makalesi - Research Article

Robust Versions of the Lower and Upper Possibilistic Mean - Variance Models for the One Period or Two Periods Cases

Bir ya da İki Periyotlu Durumlar için Alt ve Üst Olabilirlik Ortalama - Varyans Modellerinin Dayanıklı Versiyonları

Furkan Göktaş^{1*}

Geliş / Received: 19/01/2023

Reviz / Revised: 24/03/2023

Kabul / Accepted: 04/04/2023

ABSTRACT

It is easy to use possibility theory in modeling incomplete information. Robust optimization is an important tool when there is parameter uncertainty. Thus, in this study, we propose robust versions of the lower and upper possibilistic mean - variance (MV) models when there are multiple possibility distribution scenarios. Here, we use entropy as a diversification constraint. In addition, we reduce these robust versions to concave maximization problems. Furthermore, we generalize them for two periods portfolio selection problem by using fuzzy addition and multiplication. On the other hand, these generalizations are not concave maximization problems. Finally, we give an illustrative example by using different solvers in Gams modeling system.

Keywords- Entropy, Fuzzy Arithmetic, Portfolio Selection, Possibility Theory, Robust Optimization

ÖZ

Tam olmayan bilgiyi modellemede olabilirlik teorisini kullanmak kolaydır. Parametre belirsizliği olduğunda dayanıklı optimizasyon önemli bir araçtır. Bu nedenle bu çalışmada, birden çok olabilirlik dağılımı senaryosu olduğunda alt ve üst olabilirlik ortalama - varyans (OV) modellerinin dayanıklı versiyonları önerilmiştir. Burada entropi çeşitlendirme kısıdı olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte bu dayanıklı versiyonlar konkav maksimizasyon problemlerine indirgenmiştir. Üstelik bunlar, iki periyotlu portföy seçimi problemine bulanık toplama ve çarpma kullanılarak genelleştirilmiştir. Öte yandan bu genelleştirmeler, konkav maksimizasyon problemleri değildir. Son olarak, Gams modelleme sisteminde farklı çözücüler kullanılarak açıklayıcı bir örnek verilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Entropi, Bulanık Aritmetik, Portföy Seçimi, Olabilirlik Teorisi, Dayanıklı Optimizasyon

^{1*}Corresponding Author Contact: furkangoktas@karabuk.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-9291-3912>)
Department of Business Administration, Faculty of Management, Karabuk University, Karabuk, Turkey

I. INTRODUCTION

Fuzzy set theory, which has a wide range of uses, is introduced by Zadeh in [1]. Possibility theory, which is one of them, is also proposed by Zadeh in [2] and enhanced by Dubois and Prade in [3]. Possibility theory is simpler than other uncertainty theories to deal with incomplete information [4]. Thus, it is widely used in many areas [5]. The possibilistic MV model is proposed in [6] for the one period case. Its variants, which are called as the lower and upper possibilistic MV models, are examined in [7,8]. There are also its different variants for the one period case such as two moments models proposed in [9] and a three moments model proposed in [10]. For the multi-period case, we list some of its variants in Table 1. Here, we also mention about the used fuzzy numbers for possibility distributions and whether entropy is used as a diversification constraint or not.

Table 1. The variants of the possibilistic MV model for the multi-period case.

Models	Fuzzy Number	Entropy
The model in [11]	Trapezoidal	N/A
The models in [12]	Coherent trapezoidal	N/A
The models in [13]	Trapezoidal	N/A
The models in [14]	Triangular	N/A
The model in [15]	LR type	N/A
The model in [16]	Trapezoidal	N/A
The model in [17]	Trapezoidal	Shannon entropy
The model in [18]	Trapezoidal	Shannon entropy
The model in [19]	Trapezoidal	Possibilistic entropy
The models in [20]	Trapezoidal	N/A
The proposed robust versions	Trapezoidal	Shannon entropy

The possibilistic mean - semi variance model is solved with the multiple particle swarm optimization [11]. The models solved with the genetic algorithm capture the heterogeneity of investor attitudes towards the stock market [12]. The models solved with the max-min approach consider several realistic constraints [13]. The models solved with the self adaptive differential evolution algorithm consider higher possibilistic moments [14]. The model solved with the hybrid differential evolution algorithm considers some real investment features [15]. The model solved with the multi-objective evolutionary algorithm considers the liquidity of stocks [16]. The model solved with the fuzzy goal programming considers investor's different investment preferences [17]. The possibilistic mean - semi variance model is solved with the genetic algorithm [18]. The possibilistic mean - semi variance - entropy model is solved with the hybrid intelligent algorithm [19]. The models solved with genetic algorithm considers the possibilistic skewness [20].

On the other hand, to the best of our knowledge, there is not a multi-period model where the upper (lower) possibilistic mean and variance definitions given in [7,8] are used exactly. To fill this gap in the literature, we propose robust versions of the lower (upper) possibilistic MV model for the one period or two periods' cases where we use Shannon entropy as a diversification constraint. Here, we assume that there are multiple possibility distribution scenarios unlike the multi-period models in Table 1. In the one period case, we see that portfolio selection problem is reduced to concave maximization problems. Thus, the proposed robust versions can be solved with the known algorithms in the literature. In the two periods case, we see that portfolio selection problem is given with general nonlinear maximization problems. Here, we use Gams/Ocateract, which finds global optima [21].

Due to the linearity of the lower (upper) possibilistic mean - variance model, its solution can be derived analytically. On the other hand, the diversified optimal portfolios can not be uniquely derived with these models when there are not extra constraints [22]. In this study, by using multiple possibility distributions scenarios, we propose their robust versions to overcome this drawback. The main two motivations of this study is to get the diversified optimal portfolios with the proposed robust versions and to generalize these robust versions for the two periods case. The originality and main contribution of this study is that this is the first study considering multiple possibility distributions scenarios for two periods portfolio selection problem. The main limitation of the proposed robust versions is that they can not be effectively used when the asset weights are allowed to be negative. This drawback is also valid for the lower (upper) possibilistic mean - variance model. That is, the proposed robust versions may be preferable for real-world portfolio selection only when the short positions are not allowed in portfolios.

We organize the remainder of paper as follows. Firstly, we formulate the robust versions of the upper and lower possibilistic MV models for the one period case by using only fuzzy addition. Then, we generalize them for

the two periods case by using fuzzy addition and multiplication. Secondly, we give an explanatory example to illustrate and compare the proposed robust versions. Then, we conclude the paper.

II. METHODS

A. The Proposed Robust Versions for the One Period Case

In this study, we use trapezoidal fuzzy numbers for possibility distributions as in [7]. The membership function of trapezoidal fuzzy number (a, b, α, β) is as below.

$$A(t) = \begin{cases} 1 - \frac{a-t}{\alpha}, & a - \alpha \leq t \leq a \\ 1, & a \leq t \leq b \\ 1 - \frac{t-b}{\beta}, & b \leq t \leq b + \beta \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

In Figure 1, its membership function is shown graphically.

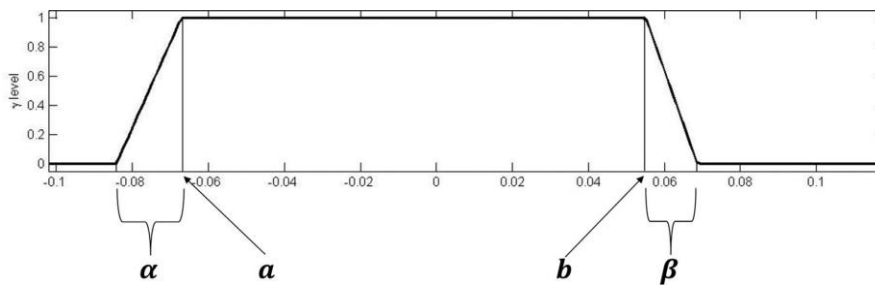


Figure 1. The membership function of trapezoidal fuzzy number [23].

Let r_i be defined as 1 plus simple return of i^{th} asset. Let the possibility distribution of r_i be $(a_i, b_i, \alpha_i, \beta_i)$. Then, the lower possibilistic mean and standard deviation of the portfolio are found as below where $E_p^-(\cdot)$ and $SD_p^-(\cdot)$ are the lower possibilistic mean and standard deviation operators respectively [7].

$$E_p^-\left(\sum_{i=1}^n w_i r_i\right) = \sum_{i=1}^n w_i E_p^-(r_i) = \sum_{i=1}^n w_i \left(a_i - \frac{\alpha_i}{3}\right) \quad (2a)$$

$$SD_p^-\left(\sum_{i=1}^n w_i r_i\right) = \sum_{i=1}^n w_i SD_p^-(r_i) = \sum_{i=1}^n w_i \frac{\alpha_i}{3\sqrt{2}}$$

The upper possibilistic mean and standard deviation of the portfolio are found as below where $E_p^+(\cdot)$ and $SD_p^+(\cdot)$ are the upper possibilistic mean and standard deviation operators respectively [7].

$$E_p^+\left(\sum_{i=1}^n w_i r_i\right) = \sum_{i=1}^n w_i E_p^+(r_i) = \sum_{i=1}^n w_i \left(b_i + \frac{\beta_i}{3}\right) \quad (2b)$$

$$SD_p^+\left(\sum_{i=1}^n w_i r_i\right) = \sum_{i=1}^n w_i SD_p^+(r_i) = \sum_{i=1}^n w_i \frac{\beta_i}{3\sqrt{2}}$$

Let c vary on $[0,1]$. Based on (2a), the lower possibilistic MV model can be given with the following linear maximization problem [22].

$$\begin{aligned} \max c \sum_{i=1}^n w_i \left(a_i - \frac{\alpha_i}{3}\right) + (1-c) \left(-\sum_{i=1}^n w_i \frac{\alpha_i}{3\sqrt{2}}\right) \\ \text{s.t. } \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ w_i \geq 0, \forall i \end{aligned} \quad (3a)$$

Based on (2b), the upper possibilistic MV model can be given with the following linear maximization problem [22].

$$\begin{aligned} & \max c \sum_{i=1}^n w_i \left(b_i + \frac{\beta_i}{3} \right) + (1-c) \left(-\sum_{i=1}^n w_i \frac{\beta_i}{3\sqrt{2}} \right) \\ & \text{s.t. } \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ & \quad w_i \geq 0, \forall i \end{aligned} \tag{3b}$$

Shannon entropy, which is an uncertainty measure is defined with the following concave function. Its main advantage is to form well-diversified portfolios. Its unique minimum is achieved with zero value when the weight of an asset is equal to 1. Its unique maximum is achieved with $\ln(n)$ value when the weights of all assets are equal [24].

$$SE(w) = -\sum_{i=1}^n w_i \ln w_i \tag{4}$$

We use (4) as a diversification constraint in the proposed robust versions. Then, the feasible set is as below in the one period case. Here, w is the weight vector of assets and w_i is the weight of i^{th} asset.

$$S = \left\{ w : \sum_{i=1}^n w_i = 1 \text{ and } w_i \geq 0 \text{ and } SE(w) \geq \frac{1}{2} \ln n \right\} \tag{5}$$

Let the possibility distribution of r_i be $(a_{i,k}, b_{i,k}, \alpha_{i,k}, \beta_{i,k})$ according to the k^{th} expert. We define the robust version of (3a) as below.

$$\max_{w \in S} \min_k c \sum_{i=1}^n w_i \left(a_{i,k} - \frac{\alpha_{i,k}}{3} \right) - (1-c) \sum_{i=1}^n w_i \frac{\alpha_{i,k}}{3\sqrt{2}} \tag{6a}$$

We define the robust version of (3b) as below.

$$\max_{w \in S} \min_k c \sum_{i=1}^n w_i \left(b_{i,k} + \frac{\beta_{i,k}}{3} \right) - (1-c) \sum_{i=1}^n w_i \frac{\beta_{i,k}}{3\sqrt{2}} \tag{6b}$$

We reduce (6a) to the following concave maximization problem.

$$\begin{aligned} & \max_{w \in S} z \\ & \text{s.t. } z \leq c \sum_{i=1}^n w_i \left(a_{i,k} - \frac{\alpha_{i,k}}{3} \right) - (1-c) \sum_{i=1}^n w_i \frac{\alpha_{i,k}}{3\sqrt{2}}, \forall k \end{aligned} \tag{7a}$$

We reduce (6b) to the following concave maximization problem.

$$\begin{aligned} & \max_{w \in S} z \\ & \text{s.t. } z \leq c \sum_{i=1}^n w_i \left(b_{i,k} + \frac{\beta_{i,k}}{3} \right) - (1-c) \sum_{i=1}^n w_i \frac{\beta_{i,k}}{3\sqrt{2}}, \forall k \end{aligned} \tag{7b}$$

In the one period case, the local maximums of (7a) and (7b) are also the global maximums of them since (7a) and (7b) are concave maximization problems. In this study, we use Gams/Conopt4 to find the local (global) maximums.

B. The Proposed Robust Versions for the Two Periods Case

In the two periods case, the feasible set is as below. Here, w (ω) is the weight vector in the first (second) period.

$$S = \left\{ \begin{array}{l} w, \omega : \sum_{i=1}^n w_i = 1 \text{ and } w_i \geq 0 \text{ and } SE(w) \geq \frac{1}{2} \ln n \\ \sum_{i=1}^n \omega_i = 1 \text{ and } \omega_i \geq 0 \text{ and } SE(\omega) \geq \frac{1}{2} \ln n \end{array} \right\} \quad (8)$$

Let $r_{1,i}$ be 1 plus simple return of i^{th} asset in the first period and $r_{2,i}$ be 1 plus simple return of i^{th} asset in the second period with the possibility distribution $(a_{1,i,k}, b_{1,i,k}, \alpha_{1,i,k}, \beta_{1,i,k})$ and $(a_{2,j,k}, b_{2,j,k}, \alpha_{2,j,k}, \beta_{2,j,k})$ respectively. Then, we find the lower possibilistic mean and standard deviation of portfolio as below respectively due to the linearity in (2a).

$$E_p^- \left(\left(\sum_{i=1}^n w_i r_{1,i} \right) \left(\sum_{j=1}^n \omega_j r_{2,j} \right) \right) = E_p^- \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \omega_j r_{1,i} r_{2,j} \right) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \omega_j E_p^- \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{1,i} r_{2,j} \right) \quad (9)$$

$$SD_p^- \left(\left(\sum_{i=1}^n w_i r_{1,i} \right) \left(\sum_{j=1}^n \omega_j r_{2,j} \right) \right) = SD_p^- \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \omega_j r_{1,i} r_{2,j} \right) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \omega_j SD_p^- \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{1,i} r_{2,j} \right)$$

For positive two trapezoidal fuzzy numbers, we have the following results [25].

$$\begin{aligned} & (a_{1,i,k}, b_{1,i,k}, \alpha_{1,i,k}, \beta_{1,i,k}) \oplus (a_{2,j,k}, b_{2,j,k}, \alpha_{2,j,k}, \beta_{2,j,k}) \\ &= (a_{1,i,k} + a_{2,j,k}, b_{1,i,k} + b_{2,j,k}, \alpha_{1,i,k} + \alpha_{2,j,k}, \beta_{1,i,k} + \beta_{2,j,k}) \\ & (a_{1,i,k}, b_{1,i,k}, \alpha_{1,i,k}, \beta_{1,i,k}) \otimes (a_{2,j,k}, b_{2,j,k}, \alpha_{2,j,k}, \beta_{2,j,k}) \\ &\approx (a_{1,i,k} a_{2,j,k}, b_{1,i,k} b_{2,j,k}, a_{1,i,k} \alpha_{2,j,k} + \alpha_{1,i,k} a_{2,j,k} - \alpha_{1,i,k} \alpha_{2,j,k}, b_{1,i,k} \beta_{2,j,k} + \beta_{1,i,k} b_{2,j,k} + \beta_{1,i,k} \beta_{2,j,k}) \end{aligned} \quad (10)$$

Example: The fuzzy addition of (5, 5, 1, 2) and (6, 6, 3, 4) is equal to (11, 11, 4, 6). The fuzzy multiplication of them is approximately equal to (a, b, α , β) where $a=5*6=30$, $b=5*6=30$, $\alpha=5*3+1*6-1*3=18$ and $\beta=5*4+2*6+2*4=40$. Notice that $a-\alpha$ is equal to $(5-1)*(6-3)=12$ while $b+\beta$ is equal to $(5+2)*(6+4)=70$.

We have the following results according to the k^{th} expert based on (2a) and (10).

$$\Gamma_{i,j,k} := E_p^- (r_{1,i} r_{2,j}) = \left(a_{1,i,k} a_{2,j,k} - \frac{a_{1,i,k} \alpha_{2,j,k} + \alpha_{1,i,k} a_{2,j,k} - \alpha_{1,i,k} \alpha_{2,j,k}}{3} \right) \quad (11a)$$

$$\Pi_{i,j,k} := SD_p^- (r_{1,i} r_{2,j}) = \left(\frac{a_{1,i,k} \alpha_{2,j,k} + \alpha_{1,i,k} a_{2,j,k} - \alpha_{1,i,k} \alpha_{2,j,k}}{3\sqrt{2}} \right)$$

We also have the following results according to the k^{th} expert based on (2b) and (10).

$$\Phi_{i,j,k} := E_p^+ (r_{1,i} r_{2,j}) = b_{1,i,k} b_{2,j,k} + \frac{b_{1,i,k} \beta_{2,j,k} + \beta_{1,i,k} b_{2,j,k} + \beta_{1,i,k} \beta_{2,j,k}}{3} \quad (11b)$$

$$\Omega_{i,j,k} := SD_p^+ (r_{1,i} r_{2,j}) = \frac{b_{1,i,k} \beta_{2,j,k} + \beta_{1,i,k} b_{2,j,k} + \beta_{1,i,k} \beta_{2,j,k}}{3\sqrt{2}}$$

We derive the lower possibilistic mean and standard deviation of portfolio as below respectively according to the k^{th} expert based on (9) and (11a) where Γ_k and Π_k are the square matrices.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \omega_j \Gamma_{i,j,k} = w^T \Gamma_k w \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \omega_j \Pi_{i,j,k} = w^T \Pi_k w$$

We determine transaction costs function as below similar to [14].

$$TC(w, \omega) = 0.001 \sum_{i=1}^n |w_i - \omega_i| \tag{13}$$

Based on (12) and (13), we generalize (7a) for the two periods case as below.

$$\max_{w, \omega \in S} z - 0.001 \sum_{i=1}^n |w_i - \omega_i| \tag{14a}$$

$$s.t. z \leq cw^T \Gamma_k \omega - (1-c)w^T \Pi_k \omega, \forall k$$

Similarly, we generalize (7b) for the two periods case as below where Φ_k and Ω_k are the square matrices, of which elements are as in (11b).

$$\max_{w, \omega \in S} z - 0.001 \sum_{i=1}^n |w_i - \omega_i| \tag{14b}$$

$$s.t. z \leq cw^T \Phi_k \omega - (1-c)w^T \Omega_k \omega, \forall k$$

(14a) and (14b) are general nonlinear maximization problems. Hence, we find the global maximums of them by using Gams/Ocateract.

III. RESULTS AND DISCUSSION

In this section, we examine the proposed robust versions when there are four risky assets (A1, A2, A3 and A4) and two experts. Possibility distributions for the first period are as below according to the first expert.

$$\begin{aligned} r_{1,1,1} &= (1.0115, 1.0115, 0.0115, 0.0085) & r_{1,2,1} &= (1.0125, 1.0125, 0.0125, 0.0095) \\ r_{1,3,1} &= (1.0135, 1.0135, 0.0135, 0.0105) & r_{1,4,1} &= (1.013, 1.013, 0.013, 0.019) \end{aligned} \tag{15}$$

Possibility distributions for the first period are as below according to the second expert.

$$\begin{aligned} r_{1,1,2} &= (1.013, 1.013, 0.013, 0.019) & r_{1,2,2} &= (1.0135, 1.0135, 0.0135, 0.0105) \\ r_{1,3,2} &= (1.0115, 1.0115, 0.0115, 0.0085) & r_{1,4,2} &= (1.0125, 1.0125, 0.0125, 0.0095) \end{aligned} \tag{16}$$

Possibility distributions for the second period are as below according to the first expert.

$$\begin{aligned} r_{2,1,1} &= (1.0125, 1.0125, 0.0125, 0.0095) & r_{2,2,1} &= (1.0115, 1.0115, 0.0115, 0.0085) \\ r_{2,3,1} &= (1.013, 1.013, 0.013, 0.019) & r_{2,4,1} &= (1.0135, 1.0135, 0.0135, 0.0105) \end{aligned} \tag{17}$$

Possibility distributions for the second period are as below according to the second expert.

$$\begin{aligned} r_{2,1,2} &= (1.0135, 1.0135, 0.0135, 0.0105) & r_{2,2,2} &= (1.013, 1.013, 0.013, 0.019) \\ r_{2,3,2} &= (1.0125, 1.0125, 0.0125, 0.0095) & r_{2,4,2} &= (1.0115, 1.0115, 0.0115, 0.0085) \end{aligned} \tag{18}$$

In this study, we define O1 (O2) as the optimal solution of (7a) or (7b) for the first (second) period when there is not an entropy constraint, EO1 (EO2) as the optimal solution of (7a) or (7b) for the first (second) period when there is an entropy constraint, TEO1 (TEO2) as the optimal solution of (14a) or (14b) for the first (second) period when there is an entropy constraint.

A. The One Period Case

We find the unique optimal solution of (7a) as in Table 2 for two periods separately if c is equal to 0.

Table 2. Optimal solution of (7a) when c is equal to 0.

Assets	O1	EO1	O2	EO2
A1	0.5714	0.5708	0	0
A2	0	0	0.5714	0.5708
A3	0.4286	0.4277	0	0.0015
A4	0	0.0015	0.4286	0.4277

1. We find the unique optimal solution of (7a) as in Table 3 for two periods separately if c is equal to 0.5 or

Table 3. Optimal solution of (7a) when c is equal to 0.5 or c=1.

Assets	O1	EO1	O2	EO2
A1	0	0	0.6667	0.6606
A2	0.6667	0.6606	0	0
A3	0.3333	0.3272	0	0.0122
A4	0	0.0122	0.3333	0.3272

We find the unique optimal solution of (7b) as in Table 4 for two periods separately if c is equal to 0.

Table 4. Optimal solution of (7b) when c is equal to 0.

Assets	O1	EO1	O2	EO2
A1	0	0.0076	0.6667	0.635
A2	0.6667	0.635	0	0.0076
A3	0.3333	0.3574	0	0.3574
A4	0	0	0.3333	0

We find the unique optimal solution of (7b) as in Table 5 for two periods separately if c is equal to 0.5.

Table 5. Optimal solution of (7b) when c is equal to 0.5.

Assets	O1	EO1	O2	EO2
A1	0	0.0012	0.5653	0.5635
A2	0.5653	0.5635	0	0.0012
A3	0	0	0.4347	0.4353
A4	0.4347	0.4353	0	0

We find the unique optimal solution of (7b) as in Table 6 for two periods separately if c is equal to 1.

Table 6. Optimal solution of (7b) when c is equal to 1.

Assets	O1	EO1	O2	EO2
A1	0.4231	0.422	0	0.0018
A2	0	0.0018	0.4231	0.422
A3	0	0	0.5769	0.5762
A4	0.5769	0.5762	0	0

Based on the tables given in this subsection, we can say that O1 (O2) and EO1 (EO2) are nearly the same and the proposed robust versions give sufficiently diversified optimal portfolios even if there is not an entropy constraint.

B. The Two Periods Case

We find the optimal solution of (14a) as in Table 7 when c is equal to 0.

Table 7. Optimal solution of (14a) when c is equal to 0.

Assets	TEO1	EO1	TEO2	EO2
A1	0.2585	0.5708	0.2585	0
A2	0.2415	0	0.2415	0.5708
A3	0.2969	0.4277	0.2969	0.0015
A4	0.2031	0.0015	0.2031	0.4277

We find the optimal solution of (14a) as in Table 8 when c is equal to 0.5.

Table 8. Optimal solution of (14a) when c is equal to 0.5.

Assets	TEO1	EO1	TEO2	EO2
A1	0.3661	0	0.3661	0.6606
A2	0.1339	0.6606	0.1339	0
A3	0.1518	0.3272	0.1518	0.0122
A4	0.3482	0.0122	0.3482	0.3272

We find the optimal solution of (14a) as in Table 9 when c is equal to 1.

Table 9. Optimal solution of (14a) when c is equal to 1.

Assets	TEO1	EO1	TEO2	EO2
A1	0.1190	0	0.1190	0.6606
A2	0.3809	0.6606	0.3809	0
A3	0.25	0.3272	0.25	0.0122
A4	0.25	0.0122	0.25	0.3272

We find the optimal solution of (14b) as in Table 10 when c is equal to 0.

Table 10. Optimal solution of (14b) when c is equal to 0.

Assets	TEO1	EO1	TEO2	EO2
A1	0.5	0.0076	0.5	0.635
A2	0.0002	0.635	0.0002	0.0076
A3	0	0.3574	0	0
A4	0.4998	0	0.4998	0.3574

We find the optimal solution of (14b) as in Table 11 when c is equal to 0.5.

Table 11. Optimal solution of (14b) when c is equal to 0.5.

Assets	TEO1	EO1	TEO2	EO2
A1	0.3889	0.0012	0.3889	0.5635
A2	0.1112	0.5635	0.1112	0.0012
A3	0.2962	0	0.2962	0.4353
A4	0.2037	0.4353	0.2037	0

We find the optimal solution of (14b) as in Table 12 when c is equal to 1.

Table 12. Optimal solution of (14b) when c is equal to 1.

Assets	TEO1	EO1	TEO2	EO2
A1	0.2202	0.422	0.2202	0.0018
A2	0.2798	0.0018	0.2798	0.422
A3	0.1756	0	0.1756	0.5762
A4	0.3244	0.5762	0.3244	0

Based on the tables given in this subsection, we can say that TEO1 (TEO2) and EO1 (EO2) are not close to each other whereas TEO1 and TEO2 are nearly the same. This is because, there are the effects of transaction costs and fuzzy multiplication in the two periods case. We also note that TEO1 (TEO2) is more diversified than EO1 (EO2). For these reasons, the use of (14a) or (14b) is a better choice than the use of (7a) or (7b) for two periods separately especially when the experts have different predictions about two consecutive periods.

C. Comparisons of the Existing Models and Their Proposed Robust Versions

In this subsection, we compare the given results with the results of the lower (upper) possibilistic MV model where L1 is the optimal solution of (3a) or (3b) for the first period according to the first expert. That is, the possibility distributions are as in (15) for the existing models. For the other cases, we have the similar results.

We find the unique optimal solution of (3a) as in Table 13 when c is equal to 0.

Table 13. Optimal solution of (3a) when c is equal to 0.

Assets	L1	O1	EO1	TEO1
A1	1	0.5714	0.5708	0.2585
A2	0	0	0	0.2415
A3	0	0.	0.4277	0.2969
A4	0	0.4286	0.0015	0.2031

We find the unique optimal solution of (3a) as in Table 14 when c is equal to 0.5.

Table 14. Optimal solution of (3a) when c is equal to 0.5.

Assets	L1	O1	EO1	TEO1
A1	0	0	0	0.3661
A2	0	0.6667	0.6606	0.1339
A3	1	0.3333	0.3272	0.1518
A4	0	0	0.0122	0.3482

We find the unique optimal solution of (3a) as in Table 15 when c is equal to 1.

Table 15. Optimal solution of (3a) when c is equal to 1.

Assets	L1	O1	EO1	TEO1
A1	0	0.	0	0.1190
A2	0	0.6667	0.6606	0.3809
A3	1	0.3333	0.3272	0.25
A4	0	0	0.0122	0.25

We find the unique optimal solution of (3b) as in Table 16 when c is equal to 0.

Table 16. Optimal solution of (3b) when c is equal to 0.

Assets	L1	O1	EO1	TEO1
A1	1	0	0.0076	0.5
A2	0	0.6667	0.635	0.0002
A3	0	0.3333	0.3574	0
A4	0	0	0	0.4998

We find the unique optimal solution of (3b) as in Table 17 when c is equal to 0.5.

Table 17. Optimal solution of (3b) when c is equal to 0.5.

Assets	L1	O1	EO1	TEO1
A1	0	0	0.0012	0.3889
A2	0	0.5653	0.5635	0.1112
A3	0	0	0	0.2962
A4	1	0.4347	0.4353	0.2037

We find the unique optimal solution of (3b) as in Table 18 when c is equal to 1.

Table 18. Optimal solution of (3b) when c is equal to 1.

Assets	L1	O1	EO1	TEO1
A1	0	0.4231	0.422	0.2202
A2	0	0	0.0018	0.2798
A3	0	0	0	0.1756
A4	1	0.5769	0.5762	0.3244

Based on the tables given in this subsection, we can say that L1 is not diversified unlike O1, EO1 and TEO1. That is, by using the proposed robust versions, we get the diversified optimal portfolios, which are robust to the worst-case scenario by definition. Thus, we believe that the proposed robust versions are superior to the existing models especially for conservative investors.

IV. CONCLUSIONS

In this study, we propose the robust versions of the lower (upper) possibilistic MV model for the one period or two periods' cases when there are multiple possibility distribution scenarios based on the different expert

opinions. The main limitation of these models is that they can not be effectively used when the short positions are allowed in portfolios. It is sufficient to make local optimization in the one period case whereas it is necessary to make global optimization in the two periods case. Because we use only fuzzy addition in the one period case whereas we use fuzzy addition and multiplication in the two periods case. That is, two periods case should be preferred when applicable due to conveying higher information. In our illustrative example, we get diversified optimal portfolios even if there is not an entropy constraint. Furthermore, the diversified optimal portfolios are robust to the worst-case scenario by definition. For these reasons, we conclude that the proposed robust versions are more preferable alternatives especially for conservative investors.

REFERENCES

- [1] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- [2] Zadeh, L. A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 3-28.
- [3] Dubois, D., & Prade, H. (1988). *Possibility Theory*. Plenum Press, New York.
- [4] Dubois, D. (2006). Possibility theory and statistical reasoning. *Computational Statistics & Data Analysis*, 51(1), 47-69.
- [5] Fullér, R., & Harmati, I. Á. (2018). On possibilistic dependencies: a short survey of recent developments. *Soft Computing Based Optimization and Decision Models*, 261-273.
- [6] Carlsson, C., Fullér, R., & Majlender, P. (2002). A possibilistic approach to selecting portfolios with highest utility score. *Fuzzy Sets and Systems*, 131(1), 13-21.
- [7] Zhang, W. G. (2007). Possibilistic mean–standard deviation models to portfolio selection for bounded assets. *Applied Mathematics and Computation*, 189(2), 1614-1623.
- [8] Zhang, W. G., Wang, Y. L., Chen, Z. P., & Nie, Z. K. (2007). Possibilistic mean-variance models and efficient frontiers for portfolio selection problem. *Information Sciences*, 177(13), 2787–2801.
- [9] Zhang, W. G., & Xiao, W. L. (2009). On weighted lower and upper possibilistic means and variances of fuzzy numbers and its application in decision. *Knowledge and Information Systems*, 18, 311-330.
- [10] Li, X., Guo, S., & Yu, L. (2015). Skewness of fuzzy numbers and its applications in portfolio selection. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 23(6), 2135-2143.
- [11] Yang, X. Y., Chen, S. D., Liu, W. L., & Zhang, Y. (2022). A multi-period fuzzy portfolio optimization model with short selling constraints. *International Journal of Fuzzy Systems*, 24(6), 2798–2812.
- [12] Gong, X., Min, L., & Yu, C. (2022). Multi-period portfolio selection under the coherent fuzzy environment with dynamic risk-tolerance and expected-return levels. *Applied Soft Computing*, 114, 108104.
- [13] Gupta, P., Mehlawat, M. K., Yadav, S., & Kumar, A. (2020). Intuitionistic fuzzy optimistic and pessimistic multi-period portfolio optimization models. *Soft Computing*, 24(16), 11931-11956.
- [14] Liu, Y. J., & Zhang, W. G. (2019). Possibilistic moment models for multi-period portfolio selection with fuzzy returns. *Computational Economics*, 53(4), 1657-1686.
- [15] Liu, Y. J., & Zhang, W. G. (2018). Fuzzy portfolio selection model with real features and different decision behaviors. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 17(3), 317-336.
- [16] Liagkouras, K., & Metaxiotis, K. (2018). Multi-period mean–variance fuzzy portfolio optimization model with transaction costs. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 67, 260-269.
- [17] Liu, Y. J., Zhang, W. G., & Zhao, X. J. (2018). Fuzzy multi-period portfolio selection model with discounted transaction costs. *Soft Computing*, 22(1), 177-193.
- [18] Liu, Y. J., & Zhang, W. G. (2015). A multi-period fuzzy portfolio optimization model with minimum transaction lots. *European Journal of Operational Research*, 242(3), 933-941.
- [19] Zhang, W. G., Liu, Y. J., & Xu, W. J. (2012). A possibilistic mean-semivariance-entropy model for multi-period portfolio selection with transaction costs. *European Journal of Operational Research*, 222(2), 341-349.
- [20] Liu, Y. J., Zhang, W. G., & Xu, W. J. (2012). Fuzzy multi-period portfolio selection optimization models using multiple criteria. *Automatica*, 48(12), 3042-3053.
- [21] Roth, M., Franke, G., & Rinderknecht, S. (2022). A comprehensive approach for an approximative integration of nonlinear-bivariate functions in mixed-integer linear programming models. *Mathematics*, 10(13), 2226.
- [22] Gökteş, F. (in press). Mathematical analyses of the upper and lower possibilistic mean – variance models and their extensions to multiple scenarios. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*.
- [23] Corazza, M., & Nardelli, C. (2019). Possibilistic mean–variance portfolios versus probabilistic ones: the winner is... *Decisions in Economics and Finance*, 42(1), 51-75.
- [24] Lam, W. S., Lam, W. H., & Jaaman, S. H. (2021). Portfolio Optimization with a Mean–Absolute Deviation–Entropy Multi-Objective Model. *Entropy*, 23(10), 1266.
- [25] Ali, M. Y., Sultana, A., & Khan, A. F. M. K. (2016). Comparison of fuzzy multiplication operation on triangular fuzzy number. *IOSR Journal of Mathematics*, 12(4-1), 35-41.



Araştırma Makalesi – Research Article

Investigation of the Impact of Different Material Types on Quadcopter Ascension Performance

Farklı Malzemelerin Quadcopterde Yükseklik Performansına Etkisi

Serkan Kılıçtektek¹, İhsan Şahin², Dilşad Akgümüş Gök^{3*}, Serkan Gök⁴

Geliş / Received: 01/02/2023

Revize / Revised: 03/04/2023

Kabul / Accepted: 03/05/2023

ABSTRACT

This study investigates the impacts of various materials depending on the quadcopter's determined flight altitude reference. On Solidworks, three different material groups are assigned to the body of the quadcopter design created for this study, these are polystyrene, carbon fiber reinforced epoxy composite, and 7075 aluminum alloy. Regardless of the body material, polystyrene material is used in the arms carrying the wings and engines. Mass calculations are made in the quadcopter according to the determined materials. In line with the calculations, a fuzzy logic-based PD controller is used for quadcopter altitude control. The input-output gains of the fuzzy logic-based PD are adjusted manually according to the reference height values and tests are carried out in the Matlab-Simulink environment. Four different values are determined for the test reference heights; these are 1 m, 1.5 m, 2.5 m, and 5 m, respectively. The test results show that the model with the polystyrene material in the body part is more successful than the other materials for the specified reference values.

Anahtar Kelimeler- Quadcopter, Fuzzy Logic, Matlab, Composite, 7075 Aluminum

ÖZ

Bu çalışmada quadcopter yüksekliğine çeşitli malzemelerin etkileri incelenmiştir. Yapılan quadcopter tasarımının gövdesi üzerine polisten, karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit ve alüminyum 7075 alaşımı SolidWorks ortamında eklenmiştir. Kanatları ve motorları taşıyan kollar da ise gövde malzemesinden bağımsız olarak polistren kullanılmıştır. Eklenen malzemelere göre quadcopterde kütle hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalar ışığında quadcopter yükseklik kontrolü için bulanık mantık tabanlı PD kontrolör kullanılmıştır. Bulanık mantık tabanlı PD'nin giriş-çıkış kazançları referans yükseklik değerlerine göre elle ayarlanıp Matlab-Simulink ortamında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde referans yükseklikleri sırasıyla 1 m, 1-0.5 m 2.5 m ve 5 m olmak üzere dört farklı değer kullanılmıştır. Yapılan deney sonuçları göstermiştir ki, gövdesinde polistren malzeme kullanılan dron modeli kullanılan referans değerlerinde diğer malzemelere göre başarılı sonuçlar vermiştir.

Keywords- Quadcopter, Fuzzy Logic, Matlab, Kompozit, 7075 Alüminyum

¹ Contact: skilictektek@aydin.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-6325-7055>)

Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, İstanbul Aydın Üniversitesi, Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu, İstanbul, Türkiye

² Contact: ihsansahin@arel.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-5564-7421>)

Elektronik ve Otomasyon Bölümü, İstanbul Arel Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İstanbul, Türkiye

^{3*} Corresponding Author Contact: dilsadagumus@aydin.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3403-3815>)

Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul, Türkiye

⁴ Contact: serkangok@aydin.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3238-6705>)

Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, İstanbul Aydın Üniversitesi, Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu, İstanbul, Türkiye

I. INTRODUCTION

Quadcopters are known as drones with four rotors. Recently, unmanned aerial vehicles have been widely used for military and civil purposes with their aerodynamic structure and size. S. Chen et al. used unmanned aerial vehicles for observation [1]. Gadda et al. preferred unmanned aerial vehicles for border protection duty [2]. S. Zhao et al. used an unmanned aerial vehicle to perform the cargo and transportation tasks [3]. Murthy and Meta Dev Prasad performed a search and rescue operation with an unmanned aerial vehicle [4].

With the nonlinear structure of unmanned aerial vehicles, studies have been carried out with various control structures in the literature. A. Tayebi and S. McGilvray conducted a quadcopter study with a classical PID controller [5]. F. Candan et al. performed position control of nano-quadcopter with fuzzy logic-based PID [6]. K. Menfoukh et al. controlled the unmanned aerial vehicle with artificial neural networks [7]. S. Bouabdallah et al. applied LQR and PID structures on quadcopter [8]. K. Alexis et al. used the model predictive control method for altitude and position control of quadcopters [9]. F. Santoso et al. worked on the quadcopter with H^∞ method [10].

Fuzzy logic, which is one of the intelligent control systems, is a system that imitates the ability of human beings to think and make decisions. Fuzzy logic was introduced to the literature by Lötfti Zadeh in 1965 [11]. In the fuzzy logic system, there are "IF-THEN" rule structures that contain linguistic terms. Fuzzy logic systems have been successfully applied in nonlinear and complex systems. İ. Şahin and T. Kumbasar used fuzzy logic to design a pursuit-evasion game in Unity 3D game environment [12]. S. E. Ovrur et al. solved the inverted pendulum problem with a fuzzy logic system [13]. E. Armağan and T. Kumbasar designed a fuzzy system for autonomous vehicle control [14]. A. Yılmaz et al. performed a risk analysis for cancer disease using the fuzzy logic method [15]. S. Mondal and D. K. Pratihari used the fuzzy logic method in their mobile robot projects [16]. S. A. Biyouki et al. designed a diagnostic system consisting of fuzzy logic and an expert system [17].

Today, the importance of material in quadcopter design is increasing day by day. In this study, polystyrene, carbon fiber reinforced epoxy composite, and 7075 aluminum alloy, all of which can be used in quadcopters, are used. These three materials are all light and durable, which is the most required specification for unmanned aerial vehicles such as quadcopters. Sudhin et al. compared the mechanical properties of carbon fiber reinforced thermoplastic and thermoset composites used in aerospace applications. In the study, polyether ketone (PEK) was preferred as thermoplastic, and epoxy resin was preferred as a thermoset. In both composite structures, 60% carbon fiber was used. As a result of the tensile test, the tensile strength of the polyether ketone-carbon fiber (PK-CF) composite structure was measured as 425 MPa, and for the epoxy-carbon fiber (E-CF) composite structure, it was 311 MPa. In addition, the tensile density factor of the polyether ketone-carbon fiber composite was calculated to be 10% higher than that of the epoxy carbon fiber composite. In line with these data, the glass transition temperature of the PK-CF composite was higher [18]. In their research, Mikhail et al. observed changes in improved mechanical properties by adding nano-sized carbon nanotubes and chopped carbon fibers to the structure of epoxy-carbon fiber composites. Within the scope of the study, 0.5-5 wt% of milled carbon fiber and 0.1-0.5 wt% of single-wall carbon nanotubes were added to the epoxy-carbon fiber composite. As a result of the experiments, 8.6% increase in static tensile strength and a 14% increase in flexural strength were observed. Additionally, it was determined that there was a significant improvement in fatigue durability [19]. For his thesis, Kılıçtek produced nano alumina reinforced hybrid composites (carbon fiber-aramid fiber) with 3, 5, and 7 layers using the vacuum infusion technique. The mechanical properties were compared according to the number of layers by adding 2% by weight and 40 nm of size nanoalumina into each composite material. As a result of the experiments, it was determined that the tensile strength and fracture toughness of the composite material increased as the number of layers increased [20]. In their study, Afaf et al. mentioned the importance of aluminum alloys in the aerospace industry. They emphasized that important mechanical properties can be changed and combinations with low weight and high strength can be obtained by means of aluminum alloys [21]. Johannes et al. conducted research on the stabilization of the 7XXX aluminum alloy series. This alloy series consists of Al-Zn-Mg-(Cu) content. The alloy has been pre-aged at various low temperatures to improve its natural aging and poor forming properties at room temperature. As a result of this process, the natural aging process of AA7021 is prevented and a more stable condition with lower hardness is provided. In the AA7075 alloy, the paint bake response was improved and the yield strength remained only below 2% [22]. Ahmad et al. studied the material optimization of the quadcopter body frame with the help of finite element analysis based on vibration. After designing the body frame in Creo 2, they simulated it in Ansys 16.2 to predict possible failure zones. In this study, three different materials were selected for the body frame: aluminum alloy, copper alloy, and stainless steel. As a result of the analysis, it was seen that the body using aluminum alloy gave better results than the other two materials [23]. Taking aerospace applications as a reference, Kauser et al. investigated the impact of carbon nanotube, graphene oxide, clay nanofiller, and graphite materials by adding them into polymer materials such as polystyrene, polypropylene, polyurethane, polyaniline, and polyamide [24]. Xu et al. added alumina, silica, and clay as fillers to polystyrene-based shape memory composite materials and investigated how these additives affect the mechanical and thermal properties of the composite material [25].

In the current study, the effects of polystyrene, carbon reinforced epoxy composite, and 7075 aluminum alloy materials used in the body part of the quadcopter on the altitude performance are investigated. Polystyrene material fixing is simulated for the arms carrying the wings and motors.

Small, unmanned quadcopters are powered by electric motors driving fixed-pitch propellers. This multi-rotor propulsion system provides the lift, thrust, and control of the quadcopter, which results in a significant demand for electric power. The mass changes that will occur due to the different material densities used in the quadcopter body are quite small. For this reason, the same motor was tried and simulated for all material structures in the study. After assigning the materials to the body, mass calculations are made for each material group. According to these mass calculations, a quadcopter model is created in the Matlab-Simulink environment for reference heights. A fuzzy logic-based PD controller design is carried out in order to perform the height performance analysis of the created model. Finally, a cost analysis including all the materials used in the study was made.

II. MATERIALS AND METHODS

A. Quadcopter Model

In this section, the equations of motion and basic properties of the quadcopter are given. Figure 1 shows the position and direction of an example quadcopter. Quadcopter movement consists of two subsystems. These are the linear subsystem (x,y,z) and the rotational subsystem (roll, pitch, and yaw). The quadcopter in Figure 1 has four independent rotors. While rotors 1 and 3 rotate clockwise, rotors 2 and 4 rotate counterclockwise. In this case, the total torque around the z-axis is equal to zero.

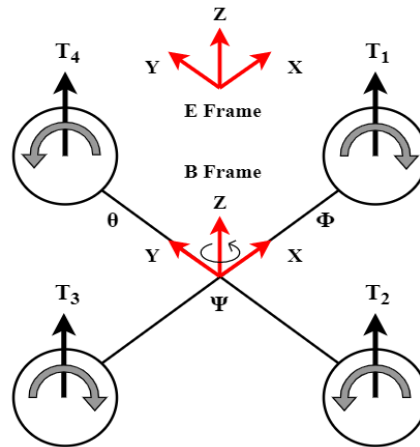


Figure 1. Position and direction of quadcopter

In Equation 1, ϕ, θ, ψ angles represent roll, pitch, and yaw angles, respectively, and I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} correspond to the moments of inertia of the respective axes.

$$\ddot{X} = (\sin \psi \sin \phi + \cos \psi \sin \theta \cos \phi) + \frac{U_1}{m} \quad (1)$$

$$\ddot{Y} = (-\cos \psi \sin \phi + \sin \psi \sin \theta \cos \phi) + \frac{U_1}{m} \quad (2)$$

$$\ddot{Z} = -g + (\cos \theta \cos \phi) + \frac{U_1}{m} \quad (3)$$

$$\ddot{\phi} = ((I_{yy} - I_{zz}) \theta' \psi' - J_r \theta' W_r + U_2) / I_{xx} \quad (4)$$

$$\ddot{\theta} = ((I_{zz} - I_{xx}) \phi' \psi' - J_r \phi' W_r + U_3) / I_{yy} \quad (5)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{(I_{xx} - I_{yy}) \dot{\phi} \dot{\theta} + U_4}{I_{zz}} \quad (6)$$

Control inputs in the quadcopter are given in Equation 2. Total thrust on the Z axis is indicated as U_1 , and roll, pitch, and yaw control points are indicated as U_2, U_3 , and U_4 , respectively. Here, k_a represents the aerodynamic force, k_m the moment constant, and Ω_i the angular velocity of the i engine.

$$U_1 = k_a(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \quad (7)$$

$$U_2 = k_t(-\Omega_2^2 + \Omega_4^2) \quad (8)$$

$$U_3 = k_t(\Omega_1^2 - \Omega_3^2) \quad (9)$$

$$U_4 = k_m(-\Omega_1^2 + \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \quad (10)$$

In this study, the necessary system model for the altitude control of the quadcopter is created with Equation 3. Equation 3 represents the acceleration of the quadcopter in the z-axis. Taking the integrating of this equation twice gives the quadcopter's position on the z-axis, that is, its height.

$$\ddot{Z} = -g + (\cos \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \quad (11)$$

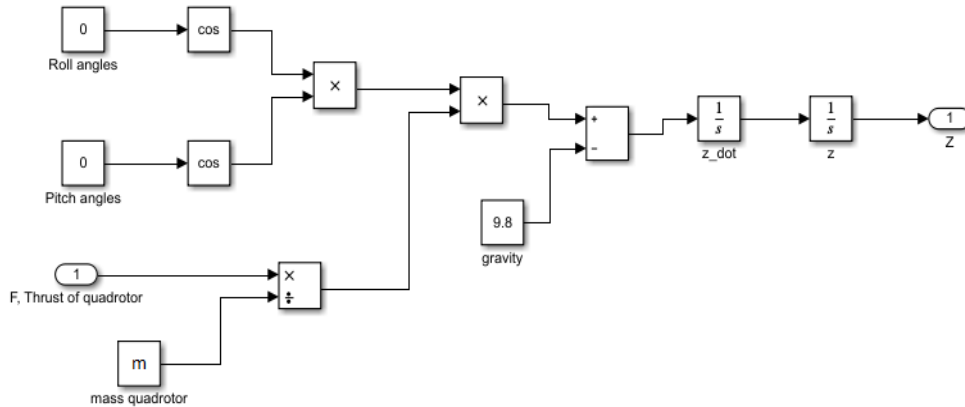


Figure 2. Shows the quadcopter model designed for altitude control in the Simulink environment.

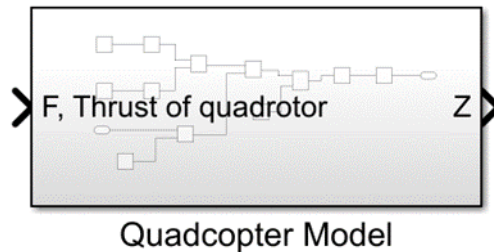


Figure 3. Quadcopter Matlab/Simulink model

Three different material groups are tested on the quadcopter model, these are polystyrene, carbon fiber reinforced epoxy composite, and 7075 aluminum alloy. Gravity is considered as 9.81 m/s^2 throughout the study. The mass of the quadcopter varies according to the selected material. A fuzzy logic-based PD controller is designed for altitude control in the quadcopter model created with various materials.

B. Fuzzy System

Systems containing fuzzy sets and the mathematical structure associated with them are called fuzzy systems. The internal structure of the fuzzy system is shown in Figure 4. There are four units in the internal structure of a fuzzy system. These are fuzzifier, fuzzy inference mechanism, fuzzy rule base, and defuzzifier units, respectively. The fuzzifier is the unit that transforms the real-valued system input (crisp input) into fuzzy sets and thus allows them to be evaluated in the fuzzy inference mechanism. The fuzzy inference mechanism produces fuzzy sets at its output in accordance with the "IF-THEN" rules defined in the fuzzy rule base. The obtained fuzzy sets are given as input to the defuzzifier unit and converted to real numbers (crisp output) at the output [26].

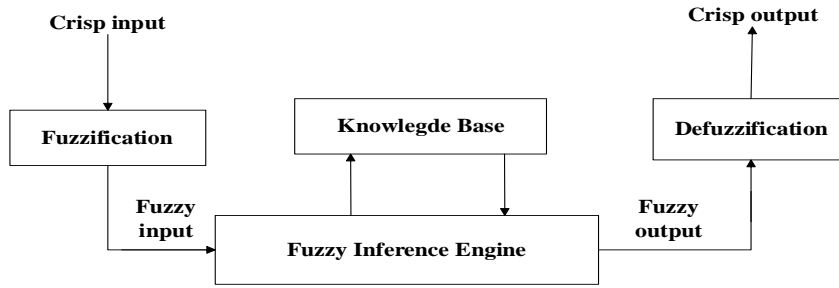


Figure 4. The internal structure of the fuzzy system

A fuzzy logic-based PD system is designed for height control for the model structure of the quadcopter and it is presented in Figure 5.

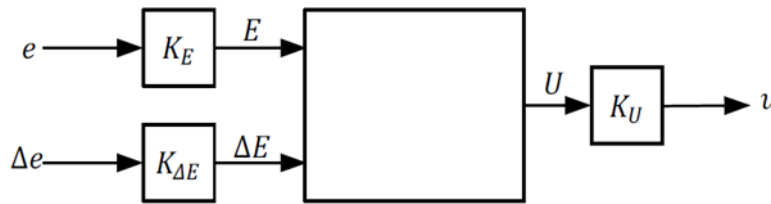


Figure 5. Fuzzy PD controller design

In this study, we designed altitude quadcopter model which has double integrated system. For this reason, we use the fuzzy PD controller to control the quadcopter model. The inputs of the fuzzy PD system are the error (e) and the variation rate of the error (Δe), and the output is the torque value (u) that is applied to the quadcopter. The u value specified here is equal to U_1 shown in Equation 2. Fuzzy system designed with a 3x3 rule base as shown in Fig.6.a. The antecedent Membership Functions (MFs) are characterized with triangular MFs as given in Fig.6.b. The linguistic fuzzy variables being Negative, Zero, and Positive are abbreviated as “N, Z, P”, respectively. The crisp singletons are defined as follows: NB: Negative Big, NM: Negative Medium Z: Zero, PM: Positive Medium, PB: Positive Big as shown in Fig.6.c. Fuzzy systems uses and employs the product implication and the center of sets defuzzification method.

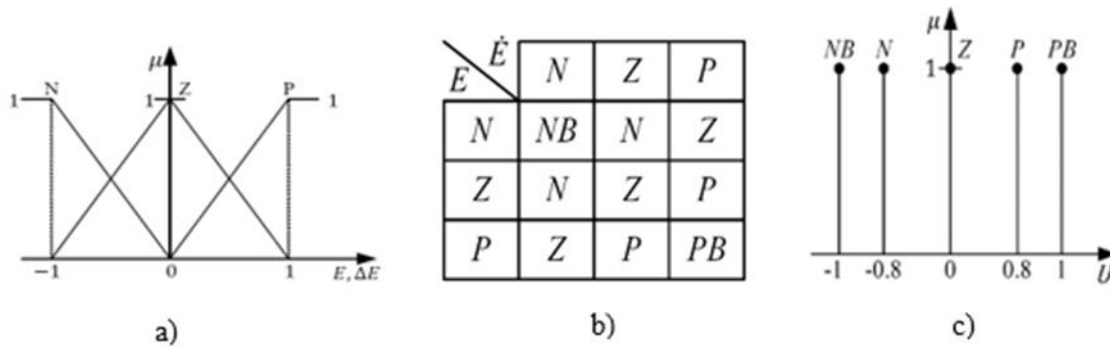


Figure 6. a) input membership function, b) rule structure and c) output membership function of the fuzzy PD system

C. Material Properties

Polystyrene, carbon fiber reinforced composite, and aluminum alloy materials are preferred for the body of the quadcopter. Polystyrene material is chosen for the arms of the quadcopter shown in Figure 7, and this material is kept constant for all three determined bodies. These materials are assigned to the body and arms of the quadcopter in the Solidworks program one by one, and the masses to be used in the analyzes are calculated.



Figure 7. Quadcopter model for the material assignment

1) Polystyrene material

Polymers are one of the most used engineering materials today. Because of the increase in the world population and the developments in science and technology, a significant increase is observed in the use of polymers [27]. Polymers, also known as plastic materials, are widely used in daily life, and they are also used in industry, packaging, furniture, construction, electronics, agriculture, and transportation. To meet this increasing demand, approximately 322 million tons of plastic products are produced worldwide [28]. There are two types of polymers, thermoplastics, and thermosets [29]. Thermoplastic polymers are preferred as the raw material of many products used in daily life and industry [30].

Polystyrene is an important industrial thermoplastic due to its good mechanical properties, low cost, and light weight [31,32]. In addition to being used as an insulation material in the construction industry, it is also widely preferred in the production of food containers, packaging foam, compact discs, and disposable utensils. According to 2013 data, approximately 21 million tons of polystyrene products were produced in the world [31]. Polystyrene is a thermoplastic with two different polymer chain structures, amorphous and crystalline, and it is brittle due to this structure [33]. The chemical structure of the polystyrene material is shown in Figure 8. Polystyrene material is a synthetic aromatic polymer with high molecular properties consisting of monomer styrene. It can be in solid or foam form. Due to its molecular structure, it can be hard and brittle. It also has a low melting temperature and poor resistance to water vapour [27]. While polystyrene materials have many superior properties, their biodegradable properties are quite bad. Although they are described as insoluble in nature according to some sources, these materials can dissolve in the natural environment, albeit very slowly [34].

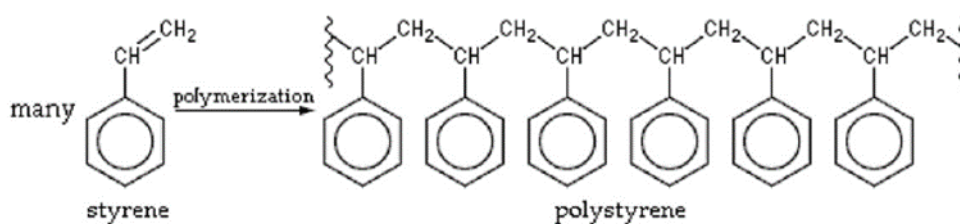


Figure 8. Schematic representation of the chemical structure of polystyrene [37]

2) Composite Material

Composite is defined as a combination of materials from the same or different groups in macro dimensions and having better properties than its component materials [35]. Composite materials consist of matrix and dispersed phases and are classified according to these phases. While the matrix is responsible for holding the reinforcement phase together and transmitting the load on the composite material to the dispersed phase, the dispersed phase is responsible for providing the desired properties from the composite material [36]. Composites have low density, high strength, good fatigue durability, design flexibility, and corrosion resistance [37]. Accordingly, it is used in many areas such as the automotive industry, ship industry, sports equipment, defense industry, space and aircraft industry [38]. Although glass fibers are generally used in composite applications due to their superior properties, carbon fibers are preferred more frequently in most advanced technological applications.

In this study, carbon fibers are preferred due to their light weight and high strength values. With the placement of the carbon fiber in the polymer matrix, the high strength value increases further and the hardness of

the material also increases [39]. The carbon fiber composite material chosen in this study is Thornel Mat VMA, which is included in the Solidworks program. The general properties of this carbon fiber are given in Table 1.

Table 1. Properties of the Thornel Matte VMA carbon fiber.

Tensile strength	1400 MPa
Tensile module	170 GPa
Density	2.0 g/cm ³
Specific surface area	0.40 m ² /g

3) 7075 Aluminum alloy

Aluminum and its alloys are widely used materials in engineering applications [40]. Aluminum alloys of the 7XXX series are also called aluminum-zinc alloys. This series was developed by a Japanese company in 1943. The maximum zinc content in its chemical composition is between 5.1% and 6.1%. It is known that the superior features of the series are lightness, high corrosion resistance, and high specific power [41,42]. Because of these properties, aluminum alloys are widely used in the automotive, packaging, aerospace and aircraft industries [43].

7075 aluminum alloys of the 7XXX series have an important place in the industry. Although its general properties are the same as the series, the most important feature that distinguishes 7075 aluminum alloy from the others is that it allows the aging process and thus has excellent mechanical properties [44]. In addition, the 7075 series is widely used in the automotive industry, defense industry, aircraft and yacht industry, with its superior properties such as low density, high strength, high fatigue durability, toughness, and ductility [44, 45].

D. Cost Analysis

The gross weights of the composite, polystyrene, and Al7075 alloys used in the Quadcopter model. The designed model aims to use four motors and operate them under 12 V voltage. In this study, the proper material selection was investigated to enable Quadcopters to achieve the best possible reference value at different heights. Moreover, cost has been considered as an important parameter in the selection of these materials. The price of the components used in the designed Quadcopter model is given in Table 2.

Table 2. Quadcopter components and cost estimation.

No.	Hardware components and materials	Price (\$)
1	Electronic Speed Controller M30-A	12.99
2	Lithium-Polymer 3000 mAh (milliamp-hour), 12 volt	38.90
3	Ardupilot 2.8 mega flight controller	115.78
4	4xServo MotorSG90	10.52
5	3-Axis: Accelerometer and Gyroscope Module	36.84
6	Polystyrene	38.80
7	Epoxy resin	14.34
8	Carbon fiber 600g/m ² 12k-twill	42.03
9	Al7075 alloys per kg	2.55

III. RESULTS

In the study, three different material groups, polystyrene, carbon fiber, and aluminum, are preferred while creating the quadcopter model. These materials are applied to the body parts of the quadcopter model. The mass of the quadcopter body models made of these three materials are $m_p=0.111$ kg, $m_k=0.147$ kg, and $m_a=0.178$ kg, respectively. Four different tests are carried out on each quadcopter model. Every test lasted ten minutes and as given the performance index which is IAE (Integral Absolute Error) of different material of quadcopter models. In the first test, the ascension of the quadcopter models to the 1-meter reference is tested. The result of this test is shown in Figure 9. Performance index of the 1 meter test as shown in Table 3.

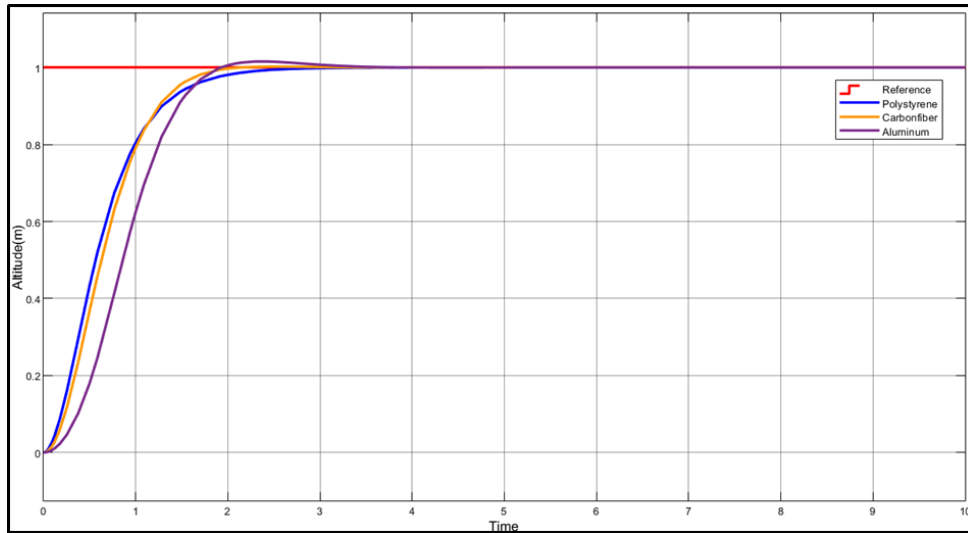


Figure 9. Test result for 1-meter reference

Table 3. Performance index of the 1 meter test

Material	IAE
Polystyrene	0.6727
Carbonfiber	0.6949
Aluminum	0.9048

In this test, the input and output gains of the fuzzy logic-based PD controllers used in the quadcopter models are the same, and $K_E=1.2$, $K_{\Delta E}=0.75$, and $K_U=1'$. These values are set manually. The quadcopter with a polystyrene body material ascended to the specified reference altitude faster than other quadcopter models. The quadcopter model with carbon fiber material ascended later than the polystyrene material but settled at the reference in time. The quadcopter model with aluminum material settled late at the reference by exceeding it.

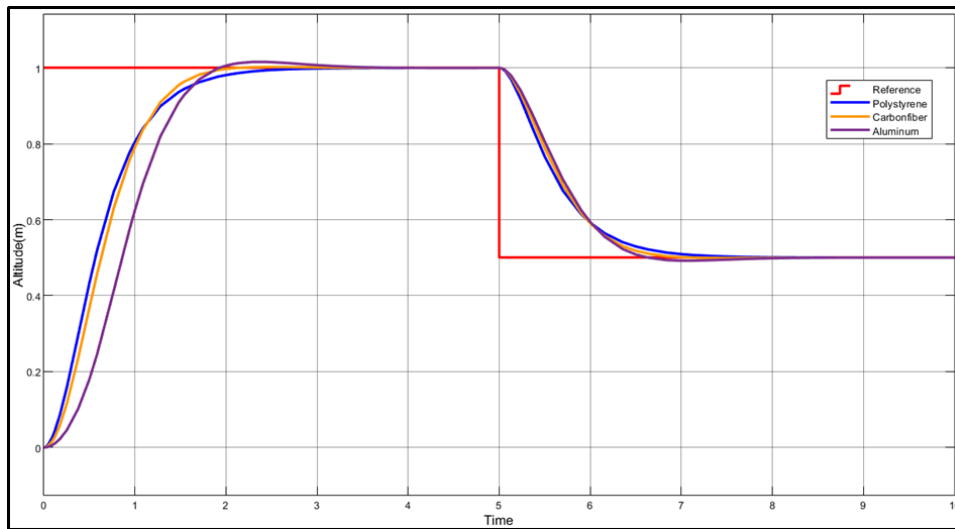


Figure 10. Test result for 1-0.5 meter reference

In the second experiment shown in Figure 10, the quadcopter models were remained at 1-meter reference during the first 5 seconds and after that, descended to 0.5 reference. Performance index of the 1-0.5 meter test as given in Table 4. It was observed that the quadcopter that settled at the reference the fastest after 5 seconds was the model with the aluminum body. Since this model is heavier than other quadcopter models, it descended to the 0.5-meter reference faster than the others with the impact of gravity. The input and output gains of fuzzy logic-based PD controllers used in quadcopter models are the same, and $K_E=1.2$, $K_{\Delta E}=0.75$ and $K_U=1'$.

Table 4. Performance index of the 1-0.5 meter test

Material	IAE
Polystyrene	0.9964
Carbonfiber	1.019
Aluminum	1.241

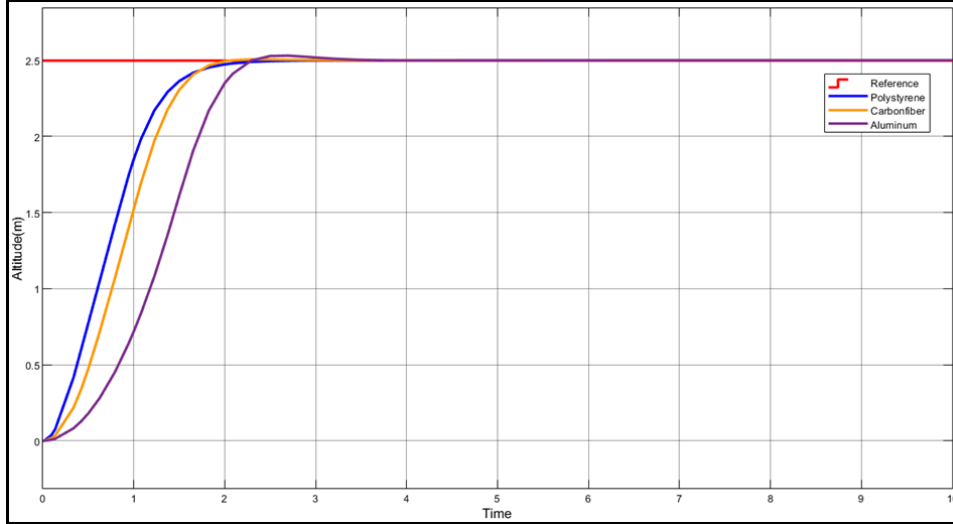


Figure 11. 2.5-meter test result

In the third test shown in Figure 11, the quadcopter models were ascended to a height of 2.5 meters. Performance index of the 2.5 meter test as shown in Table 5. In this test, the input and output gains of the fuzzy logic-based PD controllers used in the quadcopter models are the same, and $K_E=0.95$, $K_{\Delta E}=0.45$ and $K_U=2'$. As can be seen in the figure, the quadcopter model with polystyrene body settled at the reference faster. The quadcopter model with aluminum body was the last to settle at the reference among other material groups.

Table 5. Performance index of the 2.5 meter test

Material	IAE
Polystyrene	1.903
Carbonfiber	2.231
Aluminum	3.216

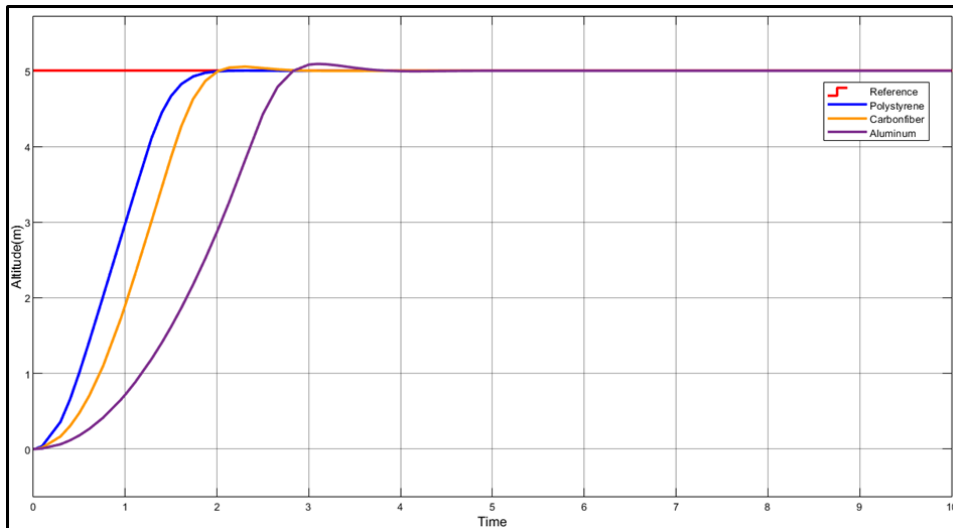


Figure 12. 5-meter test result

In the final test, which is shown in Figure 12, the quadcopter models were ascended to a height of 5 meters. Performance index of the 5 meter test as given in Table 6. In this test, the input and output gains of the fuzzy logic-based PD controllers used in the quadcopter models are the same and $K_E=0.75$, $K_{\Delta E}=0.25$ and $K_U=4$. The results of the test show that the quadcopter, whose body is designed from polystyrene material, settled at the

reference value in 2 seconds, the carbon fiber body in 3 seconds, but by exceeding it first, and the aluminum body in 4 seconds, also by exceeding it.

Table 6. Performance index of the 5 meter test

Material	IAE
Polystyrene	4.429
Carbonfiber	5.674
Aluminum	8.895

IV. CONCLUSION

In this study, the impact of different materials used in quadcopter design on quadcopter ascension performance is investigated. The body of the quadcopter is made with polystyrene, carbon fiber reinforced epoxy composite, and 7075 aluminum materials. Experiments are carried out at various reference values. When the results of the analysis are examined;

- It has been determined that the fastest material to settle at the reference values without exceeding them is polystyrene material due to its low density. For this reason, polystyrene is thought to be the best material for arriving at the reference among the materials used in the study.
- It has been determined that the quadcopter with polystyrene body has the best ascension curve.
- In the tests, the polystyrene material settled at reference levels without exceeding them.
- The carbon fiber reinforced epoxy composite material settled at the reference height by exceeding it.
- It is also observed that the exceeding level of the aluminum alloy was higher than that of the composite material.
- The first material to reach the reference value of 1 – 0.5 m was aluminum alloy due to its high density.
- When the results of the study with a reference value of 1 m are considered, it has been determined that the material with a mass of 0.111 kg, which is polystyrene, has reached the reference position first. When the other materials used are examined, it is seen that the material with a mass of 0.147 kg, which is carbon fiber, has reached the 1m reference value secondly. The Al7075 alloy with a mass of 0.178 kg, on the other hand, exceeded the reference value initially determined for a while and then descended and reached the reference value.
- In the study presented in Figure 10, the performance of quadcopter materials in both ascent and descent values was examined by taking two different reference values.
- During the second test, the reference value for the height was set to 1m, and the reference value for descent was set to 0.5 m.
- Upon examining the results presented in Figure 10, it can be observed that the quadcopter model with polystyrene material achieved the 1m reference value with the lowest error rate of 0.9964. It also reached the descent reference value with the lowest error rate. During this analysis, the Al7075 alloy exceeded the reference value during ascent performance and, due to its higher weight, made a rapid descent under the effect of gravity during descent. However, it reached the desired reference value again after dropping below the 0.5 m reference value.
- In Figure 11, the reference value was increased to 2.5 m to better understand the performance of the quadcopter in terms of height.
- Polystyrene reached the 2.5 m reference value with the lowest error rate of 1.903. The other materials, carbon fiber and Al7075 alloy, positioned themselves at the reference value with error rates of 2.231 and 3.216, respectively.
- Finally, the selected analysis height value is 5 m.
- The best height performance at the 5 m reference value was also observed in the quadcopter model that uses polystyrene material. With the reference height increasing from 2.5 m to 5 m, the error rate of carbon fiber has increased by more than two-fold, reaching 5.574, and as a result, like Al7075 alloy, it exceeded the reference value and then descended to the 5 m height.
- When the height performance of the quadcopter is examined, it is observed that the polystyrene material reached the specified reference values with the lowest error rates of 0.6727, 0.9964, 1.903, and 4.429, respectively.
- Carbon fiber, with error values of 0.6949, 1.019, 2.231, and 5.674, has reached the reference values as the second material after polystyrene in terms of altitude performance.
- Al7075 alloy has reached the reference values as the third with error rates of 0.9048, 1.241, 3.216, and 8.895 during the analysis of quadcopter's height performance.

- The cost analysis of components and materials that can be used in this study is also included in addition to the height analyses performed.
- According to the material cost analysis, AL7075 alloy has the most affordable price, but in terms of height performance, it is not highly recommended in terms of price-performance ratio.
- When both height performance and mass-based price calculation are taken into account, polystyrene materials can be selected as the most suitable material in terms of price-performance ratio.

When the test graphics obtained at the reference values are examined, it has been determined that the material that gives the best results in terms of settling at the reference, ascension, and descent is polystyrene material. In this study, it is concluded that the most important feature affecting the ascension performance of a quadcopter is the density of the material.

REFERENCES

- [1] Chen S., Wu F., Shen L., Chen J & Ramchurn S D. (2016). Decentralized patrolling under constraints in dynamic environments. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 46(12), 3364–3376.
- [2] Gadda J. S. & Rajaram D. P. (2013). Quadcopter (UAVS) for border security with gui system. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 2(12), 620-624.
- [3] Zhao S. (2015). A robust real-time vision system for autonomous cargo transfer by an unmanned helicopter. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 62(2), 1210–1219.
- [4] Murthy, M. D. P. (2015). *Design of a Quadcopter for search and rescue operation in natural calamities*. PhD Thesis, National Institute of Technology, Rourkela.
- [5] Tayebi A. & McGilvray S. (2004). Attitude stabilization of a four-rotor aerial robot. *43rd IEEE Conference on Decision and Control*, 14-17 December, Nassau, Bahamas, 2, 1216–1221.
- [6] Candan F., Beke A. & Kumbasar T. (2018). Design and deployment of fuzzy PID controllers to the nano quadcopter Crazyflie 2.0. *Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, 1-6.
- [7] Menfoukh K, Touba M M, Khenfri F & Guettal L. (2020). Optimized convolutional neural network architecture for UAV navigation within unstructured trail. *1st International Conference on Communications, Control Systems and Signal Processing (CCSSP)*. 16-17 May 2020, El Oued, Algeria, 211-214.
- [8] Bouabdallah S., Noth A. & Siegwart R. (2004). PID vs LQ control techniques applied to an indoor micro quadrotor. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 3, 2451-2456.
- [9] Alexis K., Nikolakopoulos G. & Tzes A. (2012). Model predictive quadrotor control: attitude, altitude and position experimental studies. *IET Control Theory and Applications*, 6(12), 1812–1827.
- [10] Santoso F., Liu M. & Egan G. (2008). H₂ and H_∞ robust autopilot synthesis for longitudinal flight of a special unmanned aerial vehicle: a comparative study. *IET Control Theory and Applications*, 2(11), 583–594.
- [11] Zadeh L. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338–353.
- [12] Şahin I. & Kumbasar T. (2020). Catch me if you can: a pursuit-evasion game with intelligent agents in the unity 3d game environment. *International Conference on Electrical Engineering (ICEE)*. 25-27 September, Istanbul, 1-6.
- [13] Ovr S. E., Candan F., Beke A. & Kumbasar T. (2018). YAFT: A fuzzy logic based real time two-wheeled inverted pendulum robot. *6th International Conference on Control Engineering and Information Technology (CEIT)*. 25-27 October, Istanbul, 1-6.
- [14] Armagan E. & Kumbasar T. (2017). A fuzzy logic based autonomous vehicle control system design in the TORCS environment. *10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*. 30 November-2 December, Bursa, 737-741.
- [15] Yılmaz A., Ayan K. & Adak E. (2011). Risk analysis in cancer disease by using fuzzy logic. *Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society*. 18-20 November, El Paso, TX, 1-5.
- [16] Mondal S. & Pratihari D. K. (2016). Fuzzy logic-based group formation control of multiple wheeled robots. *International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom)*, 23-25 January, Durgapur, 1-7.
- [17] Biyouki S. A., Turksen I. B. & Zarandi M. H. F. (2015). Fuzzy rule-based expert system for diagnosis of thyroid disease. *IEEE Conference on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology (CIBCB)*, 1-7 August, Canada, 1-7.
- [18] Sudhin A. U., Remanan M., Ajeesh G. & Jayanarayanan, K. (2020). Comparison of properties of carbon fiber reinforced thermoplastic and thermosetting composites for aerospace applications. *Materials Today: Proceedings*, 24, 453-462.
- [19] Burkov M. V. & Eremin A. V. (2021). Mechanical properties of carbon-fiber-reinforced epoxy composites modified by carbon micro- and nanofillers. *Polymer Composites*, 42(9), 4265–4276.
- [20] Kılıçteke S. (2020). *Farklı tabakalarda nanoalümina katkılı karbon-kevlar hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinin ve darbe tokluğunun araştırılması*. Master's Thesis, Istanbul Aydin University, Istanbul.

- [21] Abd El-Hameed A. M. & Abdel-Aziz Y. A. (2021). Aluminium alloys in space applications: a short report. *Journal of advanced research in applied sciences and engineering technology*, 22(1), 1-7.
- [22] Österreicher J. A., Kirov G., Gerstl S. S., Mukeli E., Grabner F. & Kumar M. (2018). Stabilization of 7xxx aluminium alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 740, 167-173.
- [23] Ahmad F., Kumar P. & Bhandari A. (2019). Finite element analysis based material optimization of a quadcopter body frame. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 8, 1342-1347.
- [24] Kausar A., Rafique I. & Muhammad B. (2017). Aerospace application of polymer nanocomposite with carbon nanotube, graphite, graphene oxide, and nanocla. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 56(13), 1438-1456.
- [25] Xu B., Fu Y. Q., Ahmad M., Luo J. K., Huang W. M., Kraft A., & De Hosson J. T. M. (2010). Thermo-mechanical properties of polystyrene-based shape memory nanocomposites. *Journal of Materials Chemistry*, 20(17), 3442-3448.
- [26] Şahin I. (2020). *Unity 3d oyun ortamında akıllı ajanlar ile kaçma-kovalama oyun tasarımı*. Master's Thesis, Istanbul Teknik University, Istanbul.
- [27] Ho B. T., Roberts T. K. & Lucas S. (2018). An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: the microbial approach. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(2), 308-320.
- [28] Plastics-the Facts, An analysis of european plastics production, demand and waste data [Internet], (2016). Available from: https://issuu.com/plasticseuropeebook/docs/plastics_the_facts_2016_final_version
- [29] Callister W. D., Rethwisch D. G., Blichblau A., Bruggeman K., Cortie M., Long J. ... & Orwa J. (2021). *Materials science and engineering: an introduction*. Wiley Publisher, ABD, 992.
- [30] Kismet Y. and Doğan A. (2020). The change of mechanical properties of acorn powder reinforced polystyrene and polyoxymethylene due to gamma radiation. *Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Journal of Science and Engineering*, 22(65), 619-624.
- [31] Yang Y., Yang J., Wu W. M., Zhao J., Song Y., Gao L. ... & Jiang L. (2015). Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: Part 2. Role of gut microorganisms. *Environmental Science and Technology*, 49(20), 12087-12093.
- [32] Kurt A., Yavuz R. & Bozdağ G., (2013). Polistiren-kil nanokompozitlerin sentezi, termal ve optik özelliklerinin incelenmesi. *Adiyaman University Journal of Educational Sciences*, 3(2), 58-70.
- [33] Mičušik M., Omastová M., Nógellová Z., Fedorko P., Olejníková K., Trchová M. & Chodák I. (2006). Effect of crosslinking on the properties of composites based on LDPE and conducting organic filler. *European Polymer Journal*, 42(10), 2379-2388.
- [34] Kaplan D.L., Roy H and Jim S. (1979). Biodegradation of polystyrene, poly (metnyl methacrylate), and phenol formaldehyde, *Appl Environ Microbiol*, 38, 551-553.
- [35] Hossain M. M., Khan M. A., Khan R. A., Siddique M. A. B. & Islam, T. (2015). Carbon/kevlar reinforced hybrid composite: impact of matrix variation. *3rd International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy*, 26-29 November, CUET, Chittagong.
- [36] Beşergil B. (2016). *Kompozitler temel ilkeler*. Gazi Publisher, Ankara. 520-609.
- [37] Dobrzański L. A. (2002). *Fundamentals of materials science and physical metallurgy*. Engineering Materials with Fundamentals of Materials Design, WNT Publishing House, Warszawa, 1500.
- [38] Elahi A. F., Hossain M. M., Afrin S. & Khan, M. A. (2014). Study on the mechanical properties of glass fiber reinforced polyester composites. *International Conference on Mechanical, Industrial and Energy Engineering*, 26-27 December, Khulna, Bangladesh, 1-5.
- [39] Demirel A. (2007). *Karbon elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerin karakterizasyonu*. Master's Thesis, Gazi University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- [40] Tajally M. and Emadoddin E. (2011). Mechanical and anisotropic behaviors of 7075 aluminum alloy sheets. *Materials and Design*, 32(3), 1594-1599.
- [41] Abolhasani A., Zarei-Hanzaki A., Abedi H. R. and Rokni M. R., (2012). The room temperature mechanical properties of hot rolled 7075 aluminum alloy. *Materials and Design*, 34, 631-636.
- [42] Immarigeon J. P., Holt R. T., Koul A. K., Zhao L., Wallace W. & Beddoes, J. C. (1995). Lightweight materials for aircraft applications. *Materials Characterization*, 35(1), 41-67.
- [43] Panigrahi S. K. & Jayaganthan, R. (2011). Development of ultrafine grained high strength age hardenable Al 7075 alloy by cryorolling. *Materials and Design*, 32(6), 3150-3160.
- [44] Demir M., Tekin O. & Demir A. (2020). T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan ekstrude AA 7075 alüminyum alaşımlarının mekanik davranışları. *Academic Perspective Procedia*, 3(1), 763-771.
- [45] Imran M. & Khan A. A. (2019). Characterization of Al-7075 metal matrix composites: a review. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(3), 3347-3356.



Araştırma Makalesi - Research Article

Mimarlık Eğitiminde Yapı: “Yapı Teknolojisi ve Bilimi I” Dersinin Analizi

Building Construction in Architectural Education: Analysis of “Building Technology and Science I” Course

Gülçin Özen^{1*}, Tuğçe Pekdoğan²

Geliş / Received: 09/02/2023

Reviz / Revised: 24/04/2023

Kabul / Accepted: 04/05/2023

ÖZ

Türkiye’de mimarlık eğitimi, teorik, uygulamalı ve seçmeli dersler olmak üzere üç ana gruptan oluşmaktadır. Mimari tasarım dersleri mimarlık programında önemli yer teşkil ederken, ikinci grupta tasarım derslerini destekleyen yapı dersleri yer almaktadır. Yapı dersleri, öğrencinin yapı, yapım sistemleri, yapı bileşenleri ve yapı elemanlarını öğrenebildiği bir eğitim sürecini içermektedir. Bu eğitim süreci, her öğrencinin eğitmenler tarafından verilen totaliter bilgi aktarımı ile iki ve üç boyutlu uygulamaları ürettiği kapsamlı bir uygulamalı derstir. Bir yapı dersinin çıktısı, ders kapsamındaki süreklilik ve verilen uygulamaların ısrarlı tekrarı ile bina yapım bilgisinin öğrenilmesidir. Bu çalışma, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Bölümü’nde 1. Sınıf düzeyinde verilmekte olan Yapı Teknolojisi ve Bilimi I dersinin sürecini inceleyerek 2021 yılındaki öğrenci verileri üzerinden çizim ve maket performansını mimari yapı eğitimi bağlamında incelemeyi ve değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada öğrencilerin aldıkları notlar istatistiksel olarak incelenmiş olup, bu sürecin belirlenen kriterler bazında değerlendirmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler- *Yapı Bilimi, Yapı Teknolojisi, Mimarlık Eğitimi, Eğitim ve Gelişim*

ABSTRACT

Architectural education in Turkey consists of three main groups: theoretical, applied, and elective courses. While architectural design courses have an important place in the architecture program, the second group includes construction courses that support design courses. Building construction courses include an educational process in which students can learn about construction, construction systems, building components, and building elements. This training process is a comprehensive hands-on course in which each student produces two- and three-dimensional applications with totalitarian knowledge transfer given by the instructors. The output of a construction course is the learning of building construction knowledge through the continuity of the course and the persistent repetition of the given exercises. This study aims to examine and evaluate the drawing and physical model performance in the context of architectural building education based on the student data in 2021 by examining the process of the Building Technology and Science I course, which is given at the 1st-grade level at the Izmir Institute of Technology, Department of Architecture. In this study, the grades taken by the students were analyzed statistically, and this process was evaluated on the basis of the determined criteria.

Keywords- *Building Science, Building Technology, Architecture Education, Education and Development*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: gozen@pau.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-5819-7016>)

Mimarlık Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Çamlaraltı, Kınıklı Yerleşkesi, Pamukkale, Denizli, Türkiye

²İletişim: tpekdogan@atu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-1916-9434>)

Mimarlık Bölümü, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Sarıçam, Adana, Türkiye

I. GİRİŞ

Gittikçe artan nüfus artışıyla ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte küresel inşaat pazarının 2030 yılında 2020 yılına göre iki kat daha büyük olacağı öngörülmektedir. Aynı zamanda bilimsel ve teknolojik ilerlemenin bir sonucu olarak da mimarlık ve mühendislik bilimlerine olan talep günden güne artmaktadır. Özellikle insanların zamanlarının %90'nın kapalı ortamlarda geçirdiği düşünüldüğünde yapıların ve mimari eğitimin standartları büyük önem taşımaktadır.

Mimarların, başkalarının rüyalarını nasıl inşa edeceklerine karar vermek, yapının kesin ve tutarlı olması için problem belirleme, kritik etme ve çözüme aşamalarından oluşarak diyalektik düşünce olarak karşımıza çıkan tasarım süreci, mantıksal düşünme, görsel düşünme, sezgiyle düşünme, ilhamla düşünme, sistem düşüncesi ve teorik düşünme süreçlerinin ürünüdür [1]. Mimari tasarımın kesinliği, tasarım sürecinin her aşamasında ürüne yaklaşımın ve ürünün yorumlanarak sorgulanması ve ölçülmesi, ihtiyaç duyulan çözümün anlam kazanması ve açıklanması önemlidir [2].

Mimarlık mesleği ve eğitiminde, farklı tasarımları gerçekleştirme ve uygulama isteği, bu alanı bilgisayarlarla bütünleştirmiştir. Tüm tasarım temsilleriyle özellikle de üç boyutlu modelleme ile, bir fikir ile gerçeklik arasındaki bir yapının olmasını umduğumuz ve sonunda ne olacağı ile ilgili görüntüleri ve temsilleri arasındaki fark en aza inmektedir. Bu sebeple mimari pratiklerde ve eğitimde yeni bir hızlı değişim süreci başlamıştır [3].

Teknolojinin gelişmesi ve bilimin hızla ilerlemesi sebebiyle mimari tasarım eğitiminde farklı yöntemler kullanıldığı görülmektedir. Tasarım yöntemleri ve uygulanan yöntemler farklı olmasına rağmen öğretim yöntemleri temelde değişmemiştir [4]. Mimarlık eğitimi teorik bilginin yanı sıra uygulamayı da içerir ve mesleğe hazırlanan öğrencilerin olgunlaşmasında mesleki uygulama ile iç içe olması esastır [5]. Mimarlık eğitiminde yapı, yapım sistemleri, yapı bileşenleri ve yapı elemanları gibi önemli bilgilerin öğretimi, eğitim sürecinde yapı tasarım becerilerinin artmasına katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda mimari öğrenme sürecinde bina yapım dersi bilgileri önem kazanmaktadır. Bu bilgiler sadece soyut bir anlatım yönteminden ziyade uygulamaya yönelik etkinlikleri kapsamalıdır. Bu nedenle çizim ve maketlerle yapı ile ilgili giriş derslerinde teorik ve uygulamalı olarak öğretilen yapı elemanları bilgisinin pekiştirilmesi gerekmektedir [6].

İlk mesleki teknik bilgi aktarımının yapıldığı yapı bilgisi dersi; taşıyıcı sistemleri ve bileşenleri hakkında bilgi sahibi olma, yapı elemanlarının yapısal davranışları hakkında bilgi edinme, yapıların sınıflandırmasını öğrenme, temel, duvar, döşeme, merdiven, çatı vb. yapı elemanlarının ve detaylarını öğrenme, farklı yapı türlerinin kaba inşaattan ince inşaat aşamasına kadar kurgulama becerisi kazandırmayı amaçlamaktadır. Rauf ve S Shareef [7], özellikle mimarlık fakültelerinde yapı derslerinin mimari tasarım stüdyosu ile entegre olarak çalışması gerekliliği vurgularken, yapısal sistemler, inşaat detayları, malzemeler, çevresel hususlar vb. bilgilerin mimarlık eğitiminde öğrenmeyi geliştirmede önemli bir yere sahip olduğundan bahsetmektedir. Sönmez [8] ise yapı teknolojisi dersi ile ilgili yaptığı çalışmada alternatif deneysel bir yaklaşım sunmuş, öğrencinin yapı dersinde yapı unsurlarının kökenini nasıl üretileceğini konstrüksiyon fikrini sorgulayarak kavramasını sağlamıştır. Bodur vd. [6] ise yapı eğitiminde maketin önemi hakkında deneysel bir çalışma sunmuş olup, bu çalışmaya göre iki boyutlu çizimlerin üç boyutlu olarak desteklenmesinin derste işlenen konuların daha iyi kavranması sağlayarak, yapı malzemeleri ile ilgili öğrencilerin bilgi düzeyinin artmasına sebep olduğunu ortaya çıkarmıştır.

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Mimarlık Bölümü'nde verilmekte olan Yapı Teknolojisi ve Bilimi I dersinin içeriği yığma yapı ve bileşenleri üzerine inşa edilmiştir. Yığma yapıların ve bileşenlerinin yapısal davranışı hakkında temel bir anlayış geliştirmek, mimari uygulama çizimleri ile yapı yapım ilkelerini tartışmak ve sunmak ve maket yapımı ile öğrencileri etkin bir takım çalışmasına yönlendirmek dersin genel amacı olmakla birlikte yığma yapıların ve bileşenlerinin yapısal davranışını anlama becerisi kazandırmak, takım oluşturabilmek ve takım olarak çalışabilmek, meslektaşları arasında eleştirel bir şekilde tartışabilmek ve ayrıca ilgili yapı yapım tekniği detaylarını sözlü, iki boyutlu (çizim) ve üç boyutlu (maket) sunma becerisi kazanmak bu dersin öğrenim çıktılarıdır.

Bu çalışma, İYTE Mimarlık Bölümü'nde 1. Sınıf düzeyinde verilmekte olan Yapı Teknolojisi ve Bilimi I dersinin 2021 öğrenci verileri üzerinden çizim performansını mimari yapı eğitimi bağlamında incelemeyi ve değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada öğrencilerin aldıkları notlar istatistiksel olarak incelenmiş olup, bu sürecin belirlenen kriterler bazında değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu çalışmada maket çalışmaları üzerinden verilen notlar değerlendirmeye alınmamıştır.

II. YAPI TEKNOLOJİSİ VE BİLİMİ I DERSİ

Yapı Teknolojisi ve Bilimi I dersi kapsamındaki uygulama çalışmaları verilen teorik bilgilerin pekiştirilmesini hedeflemektedir. Yapı Teknolojisi ve Bilimi I dersi iki saat teorik anlatımı ve dört saat stüdyo uygulamasını içeren bir derstir. Ders dili İngilizce olup, Mimari İletişim Teknikleri dersini geçmiş olmayı

gerektiren ön koşullu ve zorunlu bir derstir. Ders iki hoca ve beş araştırma görevlisi ile yürütülmekte olup dersi 110 öğrenci almaktadır. Teorik kısım amfide yüz yüze anlatım veya çevrimiçi anlatım şeklinde gerçekleştirilmektedir. Uygulama kısmı ise öğrencilerin ve hocaların üç ayrı stüdyoya ayrılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Stüdyo çalışmalarında o hafta anlatılan konunun maketi üç veya dört kişilik öğrenci grupları halinde yapılmaktadır. Maket çalışması stüdyo saatleri içinde tamamlanarak, yapılan maketin çizimi ev ödevi olarak istenmektedir. İşleyişin bu şekilde olmasının amacı gruplar içinde öğrencilerin anlamadığı konuları birbirleriyle tartışması, çözüme ulaşamadığı noktada hocalarına danışması ve ders içerisinde üç boyutu kavrayarak evde mantığını kavradığı konuyu çizmesidir. Dersin iki ara ve bir final sınavı bulunmaktadır. Öğrencilere sınavlar için aşama aşama teslim paketleri verilerek, kendilerinin tasarladığı “Hobby House” olarak adlandırılan hobi evi tasarımları ve teslim etmeleri beklenmektedir. Sınavlar için maket teslimi beklenmemekte olup sadece çizim teslimi yapmaları beklenmiştir. Sınavlar bu çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmamıştır. Bu derste ilk defa 2021 bahar döneminde Archicad programı kullanılarak çizimlerin teslim edilmesi istenilmiştir. Archicad yazılımı dersin uygulamalı bölümünde Koray Korkmaz tarafından Microsoft Teams üzerinden anlatılarak öğrencilerin daha sonra takıldıkları noktada izleyebilmeleri için kayda alınmıştır. Archicad’de yapılan ödev çizimlerinin pdf formatında Microsoft Teams üzerinde öğrencinin atandığı hocasına ait klasöre teslim edilmesi istenmiştir.

Ders yığma yapı sistemi ve bu yapı sisteminin elemanları olan temel, duvar, döşeme, merdiven ve çatıları içermektedir. Bu ders kapsamında öğrenciler, yığma yapı yapım tekniğinin özellikleri ve yönergeleri hakkında bilgiler ile başlayan derste, mimari ve teknik çizim kurallarına göre yapının ana bileşenleri, mimari elemanları, yapı elemanlarının ve yapı malzemelerinin grafik gösterimi konularında bilgi sahibi olur. Yapı Teknolojisi ve Bilimi I dersi aşağıdaki öğrenme ve öğretme yöntemlerini içerir;

- Tüm çizimlerin Archicad yazılımı kullanılarak çizilmesi, stüdyo çalışmalarının takibi, ödevlerin saklanması ders disiplini gereği uyulması gereken kurallarken, ders kapsamında öğretilen yapı temel, duvar, döşeme, merdiven ve çatı hakkında genel bilgiler, bir yapının yapım teknikleri, plan, kesit ve görünüş çizimlerinin grafik gösterimi konusunda prosedürün öğretimi, yapıların mimari çizimlerinin okunması, bir pafta üzerinde ortografik çizim kurallarına göre sunulması da dersin içeriğini oluşturmaktadır.

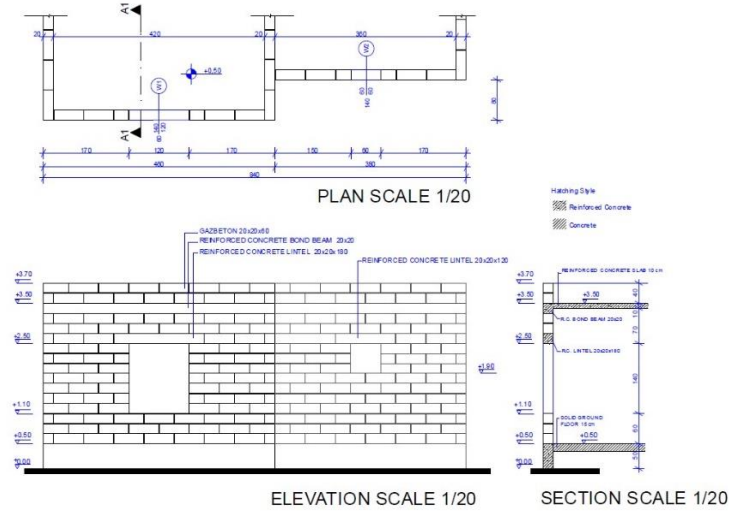
Genel olarak;

- Yığma yapıda taşıyıcı olan duvarların görünüşü, kesiti ve yapı malzemesinin grafik gösterimi,
- Yapı yükünün zemine güvenle aktarılması için gerekli olan temel türlerinin öğretilmesi, koşullarının sözlü olarak ifade edilmesi ve çizim kağıdına aktarılması,
- Ahşap döşeme plan ve kesit çizimi, döşeme kirişleri üzerine yapılan döşeme kaplamaları ile döşeme plağı oluşturmanın iki ve üç boyutlu olarak ifadesi,
- Yapının mimari ve yapısal kesitlerinin çizimleri, merdiven çiziminin planda ve kesitte detaylandırılması,
- Çatı ve çatı makaslarının ve ayrıca çatı elemanlarının kavranması,
- Duvar, temel, döşeme, merdiven ve çatı bilgilerinin pekiştirilmesi için maket uygulamaları dersin kapsamını oluşturmuştur.

A. Uygulama Çalışmaları

Derse katılım genel notun %10’luk dilimini oluştururken, uygulama çalışmaları ödevler ve sınıf içi uygulamalar olmak üzere iki şekilde işlenmiştir ve genel notun %20’sini oluşturmaktadır. Genel notu her bir ara sınav %20 ve final sınavı %30 etkilemektedir. Öğrenciler stüdyo çalışması esnasında yaptıkları maket çalışmalarından ders sonunda not alarak, ev ödevi olarak ise maketin çizimini yapmışlardır. Çizim çalışmaları pafta düzeni, çizgi kalitesi, yapısal hatalar ve ölçü/bilgi eksikliği kriterlerine göre değerlendirmeye alınmıştır. Pafta düzeni çerçeve, antet, lejant ve çizimin pafta üzerindeki konumlandırılmasını içermektedir. Çizgi kalitesi plan, kesit ve görünüşlerde çizgi türlerinin (kesit, görünüş ve yakınlık uzaklık ilişkisi) çizim standartlarına uygun olup olmamasına ve çizimdeki taramalara göre değerlendirilmiştir. Yapısal hatalar mimari elemanlara ve çizimin doğruluğuna göre değerlendirmeye alınmıştır. Ölçü ve bilgi eksikliği ise kesit çizgisi, iç-dış ölçü, kot bilgisi, mekân isimleri, çizim adı, malzeme bilgisi vb. kriterleri içermektedir. Dersin içeriğinde öğretilmiş olan tüm konuların bir sonraki konuya eklenerek devam ettiği göz önünde bulundurularak, ödevlerde her bir yapı elemanının puan karşılığı olmuştur. Her yapı elemanı uygulaması kendi içerisinde değerlendirilmiş olup, ödev kriterlerinin not ağırlıkları dönem başında belirlenen standartlara göre değişiklik göstermektedir. Aşağıda verilen istatistiksel çalışmalar 2021 bahar dönemi Yapı Teknolojisi ve Bilimi I dersi kapsamında 20 öğrencinin verileri üzerinden yapılmıştır.

1) *Yığma Duvar*: Dersin 'duvar' kısmında yığma duvar yapımı ile ilgili konu anlatımı yapılmış, avantajlarından bahsedilmiş ve kullanılan malzemelerle ilgili bilgiler verilmiştir. Örnekler üzerinden yığma yapım sistemi incelenmiş, yük iletimine dair bilgiler üzerinde durulmuştur. Ders kapsamında yığma duvar elemanı üç hafta boyunca işlenmiş olup sırasıyla gaz beton, yapı blok ve tuğla duvarların anlatımı yapılmıştır. İlk hafta gaz beton ve yapı blok anlatımı yapılmış olup malzemeler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Daha sonra, ders esnasında yığma yapım duvar sistemi uygulaması videolar özelinde gösterilmiştir. Dersin uygulama kısmında Archicad yazılımıyla ilgili eğitim verilmiştir. Ev ödevi olarak gaz beton yığma yapı malzemesi kullanılan çizimin (Şekil 1), yapı blok ile tekrar çizilmesi istenilmiştir. Öğrencilerden eksik olan lento ve söveleri çizmeleri istenmiş, ödev için asıl kritik nokta olarak belirlenen hatalı çizimin düzeltilmesi beklenmiştir. Bu ödevde derzlerin kapı/pencere boşluklarıyla kesişimlerine özellikle dikkat edilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Yığma duvar ödevini teslim eden 20 öğrencinin plan ve kesit çizimleri belirlenen kriterler doğrultusunda değerlendirilmiş, Tablo 1'de yapılan hatalar belirtilmiş ve sınıfın kriterler doğrultusunda not dağılımları ve toplam not düzeyleri kutu grafiğinde Şekil 2'de gösterilmiştir.



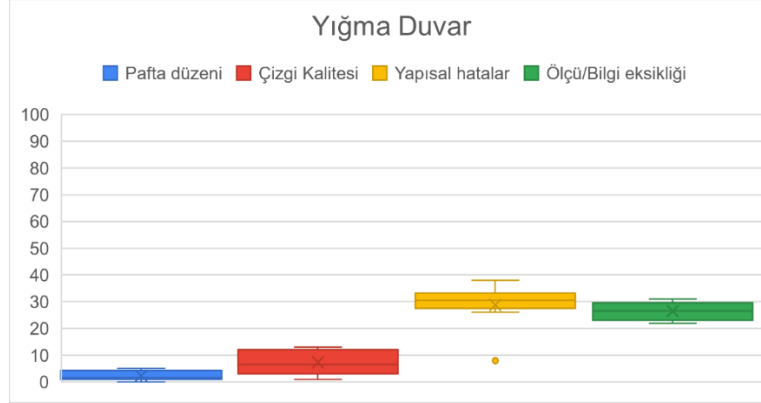
Şekil 1. Yığma duvar çalışması için verilen örnek plan, kesit ve görünüş çizimi

Tablo 1. Yığma duvar çalışmasının değerlendirme kriterleri ve karşılaşılan hatalar

Değerlendirme Kriterleri	Karşılaşılan Hatalar
Pafta düzeni	<ul style="list-style-type: none">• Çerçevenin kurallara uygun çizilmemesi• Antet bilgilerinin detaylandırılmaması• Ortografik çizim yöntemlerinin kullanılmaması
Çizgi kalitesi	<ul style="list-style-type: none">• Yapı malzemelerin ifadesi için yanlış tarama yapılması• Çizgi kalınlığı verilmemesi veya hatalı verilmesi
Yapısal hatalar	<ul style="list-style-type: none">• Planda düşey lento, kesitte yatay lentoların olmaması, eksik veya hatalı yerleştirilmesi• Görüntüye giren çizimlerin eksikliği• Pencere ve kapı detaylarının eksikliği
Ölçü/bilgi eksikliği	<ul style="list-style-type: none">• Kesit çizgisinin plan düzleminde verilmemesi• Kapı ve/veya pencere kodlarının işlenmemesi• Plan ve/veya kesitte malzeme bilgi eksikliği• İç-dış ölçü ve kot bilgisi eksikliği• Mekân isimleri ve ölçülerde yazı boyutlarının uygunsuzluğu• Planda kuzey işaretinin işlenmemesi• Kesitte zemin çizgisi eksikliği

Kutu büyük grafiği, dikey bir kutu ve bu kutudan çıkan iki çizgi ile verilerin minimum, maksimum ve üç çeyreği değerlerinden oluşan bir diyagramdır [9]. Grafiğin kutu bölümünün uzunluğu Q3 ile Q1'in çeyrek farkıdır. Kutunun ortasındaki çizgi ise Q2'nin ortanca değerini göstermektedir. Bu grafik ile veri setindeki en küçük değeri, verinin birinci, ikinci ve üçüncü çeyreklerini ve veri setindeki en büyük değeri görmek mümkündür. Ortanca değerin yani medyanın tam ortada yer alması verilerin normal dağıldığını göstermektedir. Bu çalışmada Microsoft Excel kullanılarak kutu büyük grafikleri hazırlanmıştır. Şekil 2 pafta düzeni, çizgi kalitesi, yapısal hatalar ve ölçü/bilgi eksikliği için kutu-büyük diyagramlarını göstermektedir. Kutu-büyük grafiğinde sıfır alan çizimlerde pafta düzeniyle ilgili hatalar mevcutken, beş puan alan çizimlerde pafta düzeni istenilenleri karşılamaktadır. 18 puan üzerinden değerlendirilen çizgi kalitesi kriterinde, kalem kalınlığı 15 puanı kapsamaktayken, üç puan ise tarama

değerlendirmesine aittir. Öğrenci çalışmalarına göre en düşük değer bir puan iken en yüksek puan 13'tür. Örneklemelere bakıldığında, öğrencilerin özellikle kesit çiziminde kalem kalınlığından puan kaybettikleri görülmüştür. Yapısal hatalar bu uygulama çalışmasının puantajında % 44'lük bir ağırlığa sahip olmakla birlikte en çok puan kaybedilen veya kazanılan başlıktır. Bir öğrencinin yalnızca 8 puan aldığı görülmüş olup genel olarak alınan puanlara bakıldığında minimum 26 puan maksimum 38 puan arasında normal bir dağılım olduğu görülmektedir. Burada en çok yapılan hatanın hatıl ve lento çiziminde olduğu görülmüştür. Şekil 2'de görülen ölçü/bilgi eksikliği için kutu-bıyık grafiğine bakıldığında aykırı bir değer olmadığı ve verilerin medyan değerine yakın olduğu görülmektedir. Bu ödevin değerlendirilmesinde yer alan 20 öğrencinin not ortalaması 65 iken en düşük not 35 en yüksek not 78'dir.



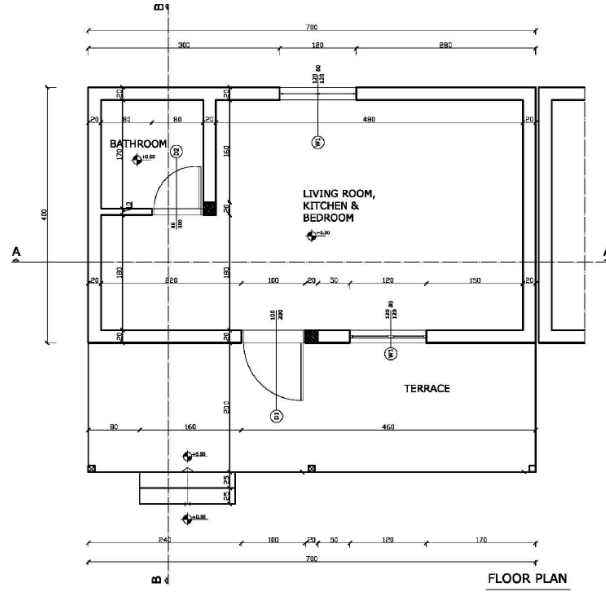
Şekil 2. Yığma duvar çiziminde kriterlerin değerlendirilmesi

İkinci hafta derse başlanmadan önce bir önceki haftanın ödevlerinden iki öğrencinin çalışması Microsoft Teams'te açılarak, öğrencilerin hatalarını öğrenebilmesi için çizim üzerindeki yanlışlar konuşulmuş ve şeffaflık için teslimler öğrencilerin önünde notlandırılmış ve kaydedilmiştir. Sonrasında ders kısmına geçilmiş ve yığma duvar konusu anlatılmaya örneklere birlikte devam edilmiştir. Duvarlara yatay ve düşey hatların yerleştirilmesiyle ilgili örnek videolar izletilmiştir. Bir sonraki hafta için bilgileri eksik veya hatalı olan örnek plan şablonu verilmiş ve duvar malzemesi yapı blok olacak şekilde eksiklerin tamamlandığı ve hataların düzeltildiği bir yığma yapı planı, kesiti ve güney görünüşü çizimleri istenmiştir. Çizimlerde nelerin istendiği üzerinde detaylı bir şekilde gösterilerek anlatılmıştır. Dersin uygulama kısmında Archicad eğitimine devam edilmiştir. İkinci haftanın ödevi bu çalışmaya dahil edilmemiştir.

Üçüncü hafta ders başlangıcında iki ödev teslimi açılarak, değerlendirmesi Microsoft Teams ile öğrenciler önünde yapılmış, anlaşılmayan kısımlar tartışmaya açılmıştır. Daha sonra dersin teorik kısmında yığma duvar konusuna devam edilmiştir. Bir sonraki hafta için öğrencilerden hobi evi tasarımları istenmiş ve ön tasarım için çizim aracı -el veya bilgisayar- öğrencinin kendisine bırakılmıştır. Hobi evi tek veya iki kişi için, toplam büyüklüğü 100 m² olan ve galeri boşluğu olan iki katlı bir yapı olmalıdır. Zemin katta hobi alanı, yaşama alanı, depolama, mutfak ve veranda; birinci katta ise yatak odası, banyo ve balkon olmalıdır. Duvarların çift cidar olacak şekilde gaz beton ve tuğla duvar olması istenmiştir. Üst kat döşemesinin ahşap yapılacağı belirtilip, daha sonra plana eklenecek düz, L veya U merdiven için yeterli alan bırakılması istenmiştir. Dersin uygulama kısmında örnek bir hobi evi Archicad ile anlatılarak çizilmiştir.

2) *Betonarme Temel*: Bir diğer ana başlık olan temel kısmında toprak ve temel çeşitleri anlatılmıştır. Toprak çeşitlerinin nasıl belirlendiğine dair -muayene çukuru ve sondajlama- bilgiler verilmiştir. Toprak dayanıklılığının zemin emniyet gerilmesi ile ölçüldüğünden bahsedilmiş, çeşitli toprak türlerinin olası güvenli taşıma kapasiteleri tablo ile gösterilmiştir. Toprağın temeli nasıl etkilediği üzerinde durulmuş, çizimler ve inşa edilmiş örnekler üzerinden yerleşim, don etkisi ve toprak hareketi gösterilmiştir. Daha sonra temeller hakkında genel bilgi verilerek, temel çeşitleri örneklerle birlikte incelenmiştir. Dersin uygulama kısmı için öğrencilerle bir araya gelerek birebir kritikler doğrultusunda hobi evi tasarımları tartışılmıştır. Öğrencilerden gerekli tasarım düzenlemeleri yapmaları istenmiş, ara sınav için proje çizimlerini geliştirmeleri gerektiğinin duyurusu yapılmıştır.

Dersin teorik sürecinde irdelenen temel konusunun, sonraki hafta çizimle desteklenmesi talep edilmiş ve Şekil 3'teki planı tekrar çizimleri ve plan üzerinden iki adet temel kesiti almaları ve iki adet detay çizimi yapmaları istenmiştir. Çizim sürecinde ilk hafta sürekli temel çizimi yapılması istenmiş olup, devamındaki hafta da ise radye temel çizimleri yapılmıştır. Bu çalışmada sürekli temel çizimleri değerlendirmeye alınmıştır.

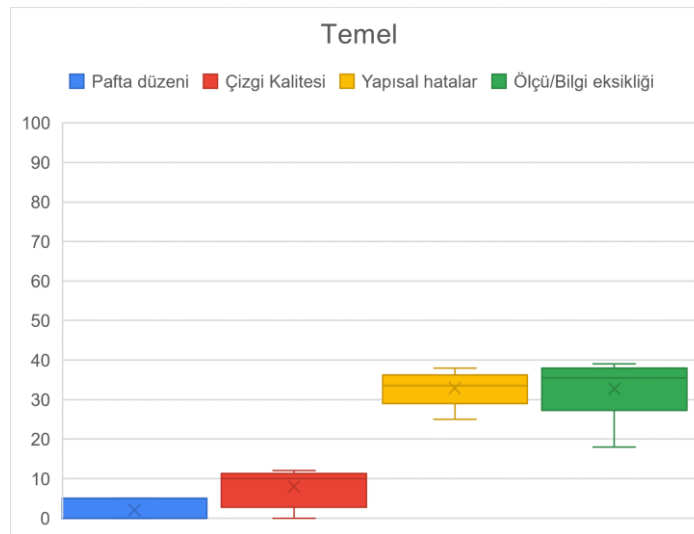


Şekil 3. Temel çalışması için verilen örnek plan

Tablo 2’de sürekli temel uygulaması için karşılaşılan hatalar belirtilmiş, Şekil 4’te ise kriterlerden alınan notlara göre dağılım kutu grafiği aracılığı ile gösterilmiştir.

Tablo 2. Sürekli temel çalışmasının değerlendirme kriterleri ve karşılaşılan hatalar

Değerlendirme Kriterleri	Karşılaşılan Hatalar
Pafta düzeni	<ul style="list-style-type: none">• Çerçevenin kurallara uygun çizilmemesi• Antet bilgilerinin detaylandırılmaması• Lejant hazırlanmaması• Ortografik çizim yöntemlerinin kullanılmaması
Çizgi kalitesi	<ul style="list-style-type: none">• Yapı malzemelerin ifadesi için yanlış tarama yapılması• Çizgi kalınlığı verilmemesi veya hatalı verilmesi• Arkada kalan çizgilerin kesikli çizgilerle ifade edilmemesi
Yapısal hatalar	<ul style="list-style-type: none">• Planda düşey lento, kesitte yatay lentoların olmaması, eksik veya hatalı yerleştirilmesi• Temel elemanlarının çizilmemesi• Veranda temelinin çözülmemiş olması• Verilen planla uyumlu olmayan temel çizimi yapılması• Tretuvar çizilmemesi
Ölçü/bilgi eksikliği	<ul style="list-style-type: none">• Kesit çizgisinin plan düzleminde verilmemesi• Plan ve/veya kesitte malzeme bilgi eksikliği• Plan ve/veya kesitlerde ölçü ve/veya kot verilmemesi veya eksik verilmesi



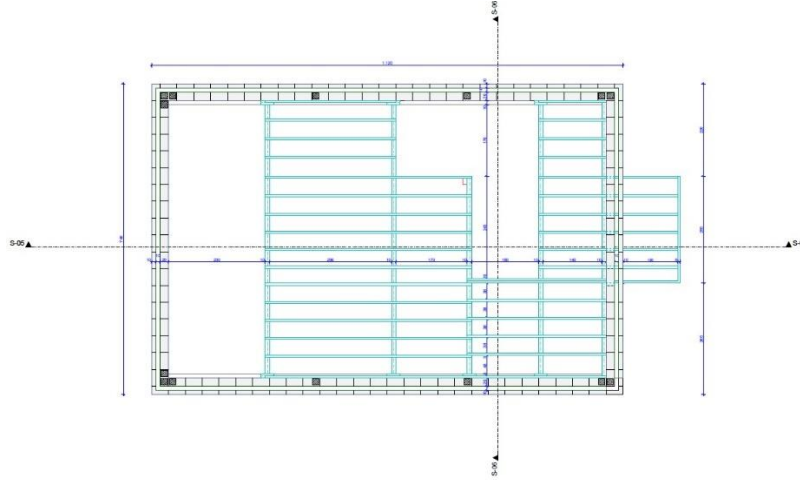
Şekil 4. Sürekli temel çiziminde kriterlerin değerlendirilmesi ve genel not dağılımı

Şekil 4'te sürekli temel ödevleri pafta düzeni, çizgi kalitesi, yapısal hatalar ve ölçü/bilgi eksikliği üzerinden değerlendirilmiştir. Kutu bıyık grafiğinde pafta düzeni beş, çizgi kalitesi 14, yapısal hatalar 40 ve ölçü/bilgi eksikliği 41 puandır. Çizgi kalitesinde yapı malzemesinin ifadesinde yanlış tarama yapılması ve çizgi kalınlığının verilmemesi nedeniyle, öğrenciler ortalama sekiz puan almış olup en düşük çeyrek üç puanken en yüksek çeyrek 12 puanı temsil etmektedir. Yapısal hatalar grafiğine bakıldığında değerlerin 25 ile 38 arasında normal bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Temel katmanlarının yanlış yazılması, ölçülerin verilmemesi veya hatalı verilmesi nedeniyle ölçü/bilgi eksikliğinde dağılım 18 puan ile 39 puan arasında değişmektedir. Temel için verilen ödev esasına dayanarak toplam alınan puanlar 53 ile 93 arasındadır.

3) *Döşeme*: Döşeme konusuna başlamadan önce, bir önceki haftanın ödev teslimlerinden iki tanesi açılarak, Microsoft Teams üzerinden yanlışlar gösterilmiş teslimlerin notlaması yapılmış ve Teams kaydı alınmıştır. Daha sonra dersin üçüncü ana konusu olan döşeme, zemine oturan döşeme ve ahşap ara kat döşemesi, yük aktarım stratejileri ve döşemeyi oluşturan etmenleriyle birlikte örneklerle anlatılmıştır. Daha sonra ahşap döşemeler ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ahşabın strüktürel taşıma kapasitesi üzerinde durularak ahşap ara kat döşemelerinden ve döşemeyi oluşturan elemanlardan bahsedilmiştir. Ahşap ara kat döşemesi uygulaması iki haftaya yayılmış, dersin uygulama kısmında maket, ev ödevinde ise çizim yapılmıştır.

Ders içi uygulama kısmı için Şekil 5'teki örnek plan çizimi verilerek, öğrencilerden üç/dört kişilik gruplar halinde ahşap döşeme maketi yapmaları istenmiştir. Maket yapım sürecinde hocalarımız sürekli sınıflarda dolaşarak, sürecin doğru ilerlemesi için müdahalelerde bulunmuşlardır. Ders sonunda tüm maketler ortak alanda toplanarak, tüm öğretim üyelerinin ortak kararıyla notlandırmalar yapılmış öğrencilere geri dönüştürülmüştür.

Bir sonraki hafta da hobi evlerinin ara sınav olarak teslim edilmesi istenmiştir. 1/20 ölçekli zemin kat planı (yaşama alanı döşeme malzemesi doğal taş, mutfak 30*30 cm seramik olacak şekilde), birinci kat planı (zemin döşemesi ahşap kaplama olacak şekilde), temel planı, iki adet temel kesiti, iki adet görünüş (görünüşlerden biri binanın girişi diğeri de balkonun olduğu cephelerden olacak şekilde) çizilmesi ve toplamda kullanılması gereken beton blok sayısı ve beton malzemesinin miktar hesaplamalarının yapılması ara sınav için istenilenler listesinde belirtilmiştir. Ara sınav haftasında ders yapılmamıştır.



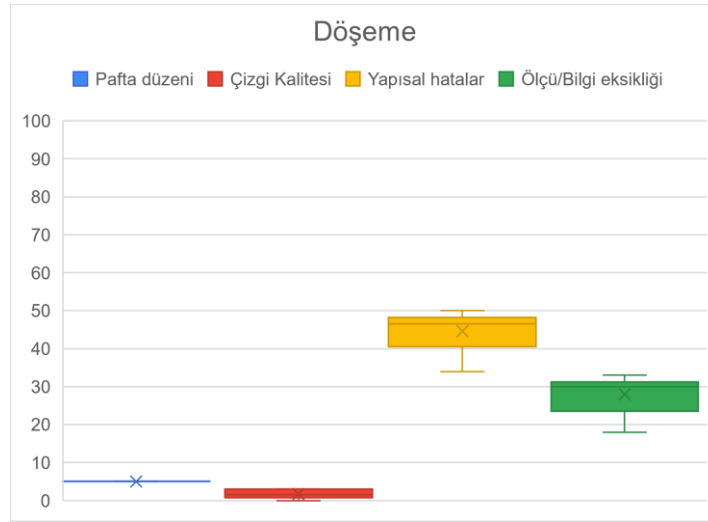
Şekil 5 . Döşeme çalışması için verilen örnek plan

Tablo 3. İkinci ahşap ara kat döşemesi çiziminin değerlendirme kriterleri ve karşılaşılan hatalar

Değerlendirme Kriterleri	Karşılaşılan Hatalar
Pafta düzeni	• -
Çizgi kalitesi	• Çizgi kalınlığı verilmemesi veya hatalı verilmesi
Yapısal hatalar	• Ahşap döşeme kirişlerinin çizilmemesi veya hatalı çizilmesi • Ahşap döşeme katmanlarının çizilmemesi veya hatalı çizilmesi • Bağ kirişinin eksik veya hatalı çizilmesi • Islak hacim döşemesinin eksik veya hatalı çizilmesi • Duvar yapı elemanlarının eksik veya hatalı çizilmesi • Temel yapı elemanlarının eksik veya hatalı çizilmesi
Ölçü/bilgi eksikliği	• Kesit çizgisinin plan düzleminde verilmemesi • Plan ve/veya kesitte malzeme bilgi eksikliği • Plan ve kesitlerde ölçü verilmemesi veya eksik verilmesi

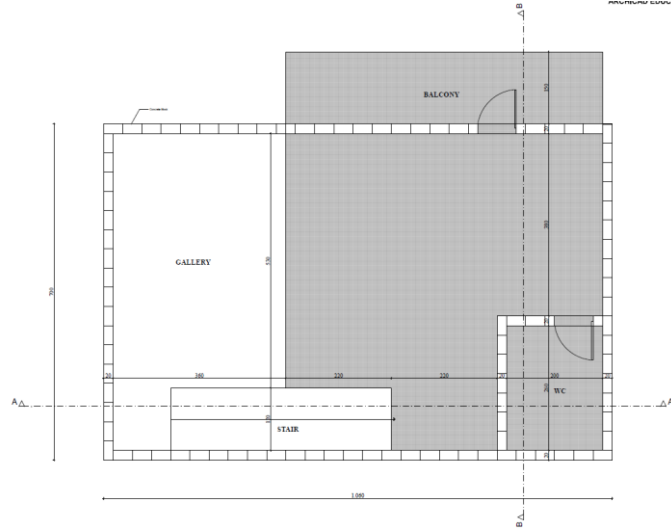
Döşeme uygulamasında pafta düzeni beş, çizgi kalitesi sekiz, yapısal hatalar 56 ve ölçü/bilgi eksikliği 31 puan üzerinden değerlendirilmiştir. Değerlendirmeye göre diğer yapı elemanları ile karşılaştırıldığında, döşeme çizimlerinde daha az hata görülmüştür. Toplam puanların da 71 ile 94 arasında olduğu analiz edilmiştir. Pafta düzeni, çizgi kalitesi, yapısal hatalar ve ölçü/bilgi eksikliği kriterlerinde puanların ortanca değere yakın olduğu görülmektedir. Ölçü/bilgi eksikliği kriterinde daha önceki temel ve duvar çizimleriyle karşılaştırıldığında puan kaybının minimuma indiği görülmekte olup, en düşük puan 26 en yüksek puan 31'dir (Şekil 6).

Ara sınavdan sonraki hafta derse başlamadan önce iki tane öğrenci teslimi Microsoft Teams ile açılarak ara sınavda en çok karşılaşılan hatalar anlatılmış ve ikinci ara sınav teslimine bu hataların düzeltilerek yeni çizimlerle birlikte teslim edileceğinin uyarısı yapılmıştır. Daha sonra dersin teorik kısmında ahşap döşemeler ile ilgili anlatıma devam edilmiş, uygulama için örnek döşeme çizimi verilerek ders sonuna kadar maket teslimini tamamlamaları istenmiştir. Ders sonunda tamamlanan maketler notlandırılarak öğrencilere geri teslim edilmiştir. Daha sonra ev ödevi olarak verilen çizimin giriş çözümlemesi ve katmanların detaylandırılması istenmiştir. Karşılaşılan hatalar genel olarak temel ve duvar elemanları ile benzerlik gösterse de öğrencilerin çizimlerinde hatalar döşeme çizimlerinde gözle görülür şekilde azalmıştır.



Şekil 6. Döşeme çiziminde kriterlerin değerlendirilmesi

4) *Ahşap Merdiven*: Merdiven konusuna başlamadan önce iki öğrencinin ödev çizimleri Microsoft Teams üzerinden döşeme uygulamasının değerlendirilmesi yapılmıştır. Böylece öğrencilerin nerede hata yaptıklarını öğrenmeleri sonraki ödev ve hobi evi çizimlerine referans olmuştur. Devamında merdiven hakkında genel bilgiler verilerek, ilgili terminolojiler öğrencilere tanıtılmıştır. Merdiven basamak yüksekliği ve genişliği, burun ölçüsü, küpeşte ve korkuluk yüksekliği, sahanlık ölçüsü ve merdiven genişliği gibi bilgiler verilerek, merdiven hesaplaması gösterilmiştir. Düz kollu merdiven, L merdiven, döner merdiven ve U merdiven örneklerle birlikte anlatılmıştır. Daha sonra uygulama çalışması için örnek bir merdiven planı verilerek, zemin kat döşemesi ile asma kat döşemesi arasına tek kollu merdiven çözümü istenilmiş olup plan, kesit ve 3 adet nokta detay çizimi yapılması beklenmiştir (Şekil 7). Ev ödevi için ise aynı plan üzerinde L merdiven çözümü yapılması beklenmiştir. Tablo 4'te merdiven çizimi için belirlenen kriterler ve bu doğrultuda karşılaşılan hatalar verilmiştir. Şekil 8'de ise merdiven çizim kriterlerinin değerlendirilmesi kutu grafiği ile ifade edilmiştir. Ev ödevi için ise L merdivenin nereye yerleştirileceği belirtilip aynı plan üzerinde tek kollu merdiven yerine L merdiven çözümleri beklenmiştir.

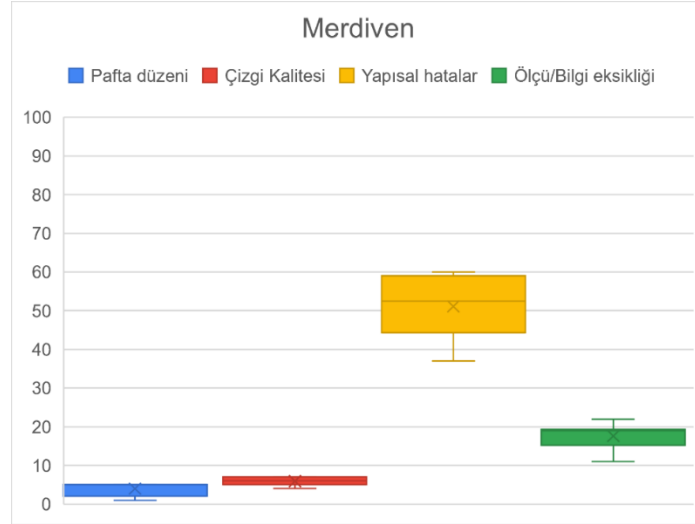


Şekil 7. Merdiven çalışması için verilen örnek plan

Tablo 4. Merdiven çiziminin değerlendirme kriterleri ve karşılaşılan hatalar

Değerlendirme Kriterleri	Karşılaşılan Hatalar
Pafta düzeni	<ul style="list-style-type: none">• Çerçevenin kurallara uygun çizilmemesi• Antet bilgilerinin detaylandırılmaması• Lejant hazırlanmaması• Ortografik çizim yöntemlerinin kullanılmaması
Çizgi kalitesi	<ul style="list-style-type: none">• Çizgi kalınlığı verilmemesi veya hatalı verilmesi
Yapısal hatalar	<ul style="list-style-type: none">• Merdivenin limon girişinin çizilmemesi veya eksik/hatalı çizilmesi• Merdiven basamak kalınlığının hatalı verilmesi• Basamağa burun yapılmaması• Merdiven çıkış yönünün verilmemesi veya hatalı verilmesi• Merdiven hesaplama bilgisinin olmaması• Döşeme yapı elemanlarının eksik veya hatalı çizilmesi• Temel yapı elemanlarının eksik veya hatalı çizilmesi
Ölçü/bilgi eksikliği	<ul style="list-style-type: none">• Kesit çizgisinin plan düzleminde verilmemesi• Plan, kesit ve/veya, nokta detay çizimlerinde malzeme bilgi eksikliği• Plan ve/veya kesitlerde ölçü verilmemesi veya eksik verilmesi• Merdiven için verilmesi gereken kot bilgileri ve basamak numaralarının verilmemesi veya eksik verilmesi

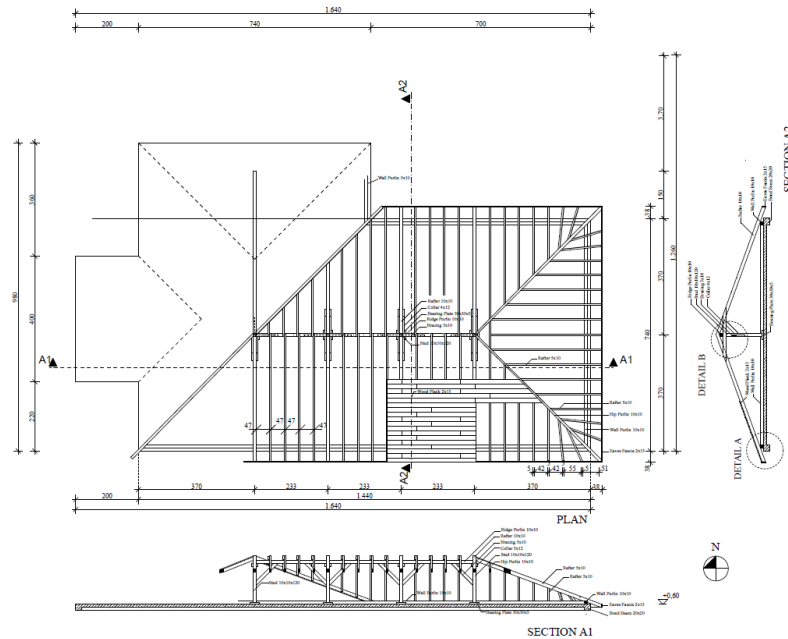
Merdiven elemanı pafta düzeni beş, çizgi kalitesi yedi, yapısal hatalar 66 ve ölçü/bilgi eksikliği 22 puan üzerinden olacak şekilde değerlendirilmiştir. Merdiven hesaplarının yapılmaması, eksik kot bilgileri, basamak numaralarının verilmemesi nedeniyle ölçü/bilgi eksikliğinde ortalama olarak 17 puan alan ödevler; merdivenin bileşenlerinin eksik veya hatalı çizilmesi gibi büyük yapısal hatalar nedeniyle ortalama 66 üzerinden 50 puan almıştır. Limon girişi hatası 20 öğrenciden 13'ünde görülmekteyken, öğrencilerde yalnızca iki tanesi merdiven hesaplamasını çizimlerine işlemiştir. Merdiven çıkış yönünü 12 öğrenci belirtmiş olup, merdiven kesitinde basamak ölçülerinin dokuz öğrencide yanlış olduğu saptanmıştır. Bunun yanı sıra merdiven temelini ödevlerin %80'inde doğru olduğu görülmüştür. Yapı Teknolojisi ve Bilimi I dersinde temel konusunun işlenmesinin üzerine anlatılan merdiven elemanında temel çizim mantığının anlaşıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 8. Merdiven çiziminde kriterlerin değerlendirilmesi

Merdiven çalışmasından sonra ikinci ara sınav gereklileri açıklanmıştır. Birinci ara sınavda istenmiş olan 1/20 ölçekli kat planlarının ve görünüşlerinin revize edilmesi istenmiş; bunlara ek olarak 1/20 ölçekli ahşap döşeme ve merdiven planı çizilerek iki kesit (kesitlerden en az birin bir pencere ve bir kapıdan ve kesitlerden en az birinin merdivenden geçmesi) çizilmesi talebinde bulunulmuştur.

5) Çatı: Çatı konusuna başlamadan önce merdivenden verilen ödev çizimlerinin değerlendirilmesi için iki öğrencinin teslimleri Microsoft Teams'te açılarak, öğrencilere karşılaşılan hatalar ve nasıl çizilmesi gerektiği anlatılmıştır. Devamında dersin son konusu olan çatı elemanına geçilerek, beşik ve kırma çatılarla ilgili detaylı bilgiler verilerek, çatı eğiminin hesaplanması, çatı bileşenleri; mahya aşığı, eğik mahya, eğik dere, mertek, damlalık aşığı, ara aşıq, dikme, göğüsleme, kuşaklama, yastık, alın tahtası hakkında çizimlerle birlikte anlatımlar yapılmıştır. Daha sonra ahşap çatı çeşitlerinden bahsedilmiştir. İlk ders sonunda oturta çatılarla ilgili uygulama çalışması için Şekil 9'de kısmi olarak çizimi verilen oturta çatının tamamlanarak üç veya dört kişilik gruplar halinde maketinin yapılması istenmiştir. Uygulama sonunda çatı maketleri notlanarak öğrencilere geri teslim edilmiştir. Öğrencilerin maketteki eksiklerini anlamaları sağlanarak, maketini yaptıkları çatının bir plan, iki kesit ve iki adet nokta detay çizimini ev ödevi olarak yapmaları istenmiştir. Bu çalışma kapsamında oturta çatı ödevi üzerinde durulmuştur. Çatı çizimlerinde karşılaşılan hatalar Tablo 5'te gösterilmiştir.

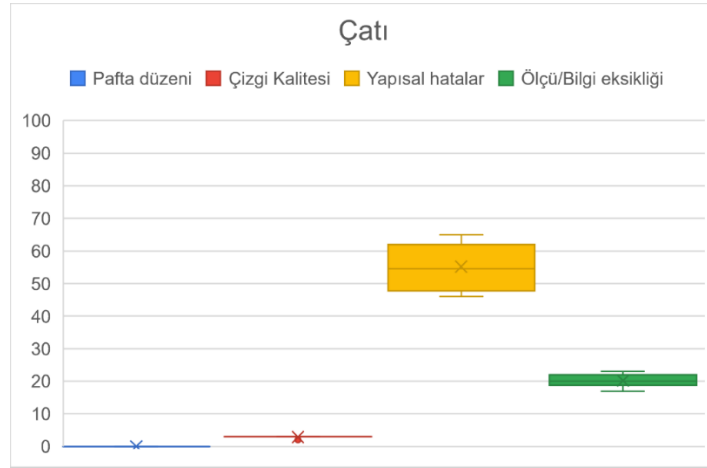


Şekil 9. Çatı ödevi için verilen örnek plan şeması

Tablo 5. Çatı çizimlerinin değerlendirme kriterleri ve karşılaşılan hatalar

Değerlendirme Kriterleri	Karşılaşılan Hatalar
Pafta düzeni	• -
Çizgi kalitesi	• Çizgi kalınlığı verilmemesi veya hatalı verilmesi
Yapısal hatalar	• Çatı bileşenlerinin eksik veya hatalı çizilmesi • Çatı ve döşeme birleşimlerinin eksik veya hatalı çizilmesi • 1/5 ölçekli çatı nokta detayı hataları • Çatı eğiminin hatalı hesaplanması
Ölçü/bilgi eksikliği	• Kesit çizgisinin plan düzleminde verilmemesi • Plan, kesit ve/veya nokta detaylarında malzeme bilgi eksikliği • Plan ve/veya kesitlerde ölçü verilmemesi veya eksik verilmesi

Dönemin son konusu olan çatı sistemleri uygulaması için öğrencilerin pafta düzeni kategorisini anladığı teslim edilen ödevler sonucunda tespit edilerek, bundan sonraki ödevlerde puan kırılmamıştır. Ödev kriterlerine bakıldığında çizgi kalitesi üç, yapısal hatalar 74 ve ölçü/bilgi eksikliği 23 puan üzerinden değerlendirilmiştir. Mahya aşığı, eğik mahya, eğik dere, mertek, damlalık aşığı, ara aşık, dikme, göğüsleme, kuşaklama, yastık, alın tahtası çatı bileşenlerinin eksik çizilmiş olması, verilen ölçeklerde malzeme ölçüsü, aşıklara dik doğrultuda olan ve bir dikmenin iki yanından merteklere kadar uzanan stabilite elemanı olan kuşaklama elemanının genel olarak hatalı olarak çizildiği görülmüştür. Öğrencilerin %75'i kuşaklama elemanını eksik çizmiş, %50'ye yakınının ise alın tahtası, yastık, damlalık aşığı detaylandırmadığı görülmüştür. Özellikle nokta detaylarında öğrencilerin malzeme işleme konusunda eksik oldukları tespit edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Çatı çiziminde kriterlerin değerlendirilmesi

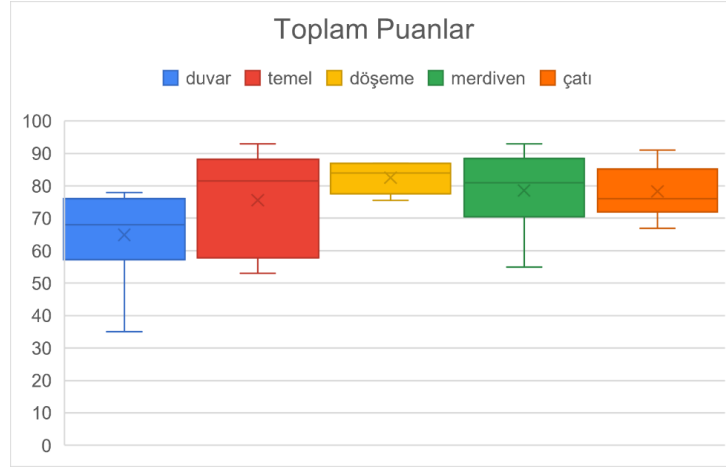
Oturma çatılar konusundan sonraki hafta ödev teslimlerinden iki tanesi açıklarak öğrencilere yapılan hatalardan bahsedilmiş, hataları düzeltmeleri yönünde yönlendirilmişlerdir. Devamında asma çatılar anlatılarak, örnek projeler ve çizimlerle birlikte verilen bilgiler pekiştirilmiş, dersin uygulama kısmında asma çatı maketi yapılması beklenmiştir. Ders sonuna kadar tamamlanan maketler, öğretim elemanları tarafından notlandırılarak öğrencilere geri teslim edilmiştir.

Dersin sonunda da final teslimleriyle ilgili kriterler ve gereklilikler açıklanmıştır. Final için tüm çizimler 1/20 ölçekli olacak şekilde kat planları, temel planı, ahşap döşeme ve merdiven planı, iki kesit (biri kapı veya pencereden geçecek, diğeri merdivenden geçecek şekilde), bina girişinin ve balkonunun olduğu cephelerden iki adet görünüş ve çatı planı istenmiştir. Teslimler online ve çıktı şeklinde alınmıştır.

B. Değerlendirme

Yapı Teknolojisi ve Bilimi I dersi kapsamında yığma yapı tekniği detaylı olarak beş başlık üzerinden işlenmiştir. Bu beş ana başlık duvar, temel, döşeme, merdiven ve çatı elemanlarıdır. Şekil 11'de paylaşılan puanlar bu beş ana başlık için seçilmiş olan ödevler dahilinde alınmış toplam puanlardır. Duvar elemanı çiziminde en düşük 35 en yüksek 78 puan alan örneklem bulunmaktayken, sınıf ortalaması 65'tir. Kutu büyük grafiğine bakıldığında iki bıyığın sonundaki aşırı değerler en geniş skor aralığının duvar elemanında olduğunu göstermektedir. Daha sonrasında ise temel gelmektedir. Teslim edilen çizimlere bakıldığında, dönemin ilk haftalarında verilen konular olan duvar ve temel elemanı daha geniş bir skor aralığını göstermekte ve dolayısıyla daha dağınık veriler içermektedir. Özellikle ilk haftalarda çizgi kalitesi ve pafta düzeni kriterlerinin ağırlığı yüksek tutulmuş olup, duvar ve temelde %5 pafta düzeni, %20'ye yakın da çizgi kalitesinin etki oranı vardır. Ancak döşeme elemanı için pafta düzeni yine %5 ağırlığa sahipken çizgi kalitesi %8 etki etmektedir. Merdiven için çizgi kalitesi %7 etkinken, çatı için ise pafta düzeni artık öğrenciler tarafından öğrenildiği görülmüş olup

değerlendirmeye alınmamıştır. Ancak yapısal hatalar gittikçe daha çok ağırlığa sahip olmaktadır. Toplam puanlar için kutu uzunlukları karşılaştırması yapıldığında ise döşeme elemanının puanlarının daha az dağıldığı görülmektedir. Döşmeden alınan ortalama puan diğer elemanlardan alınan puanlara göre daha fazladır (Şekil 11).



Şekil 11. Duvar, temel, döşeme, merdiven ve çatı ödevlerinden alınan toplam puan dağılımları

III. SONUÇLAR

Yapı Teknolojisi ve Bilimi I dersi kapsamında yığma yapı yapım tekniğinin özellikleri ve yönergeleri hakkında kısa bilgiler ile başlayan derste, mimari ve teknik çizim kurallarına göre yapının ana bileşenlerinin iki boyutlu (çizim) ve üç boyutlu (maket) olarak detaylandırılması ve grafik gösterimi konularında öğrenciler bilgi sahibi olmuştur. İçeriği beş ana başlıktan oluşan bu derste duvar, temel, döşeme, merdiven ve çatı elemanları ele alınmıştır. Bu çalışmada öğrenci verileri üzerinden çizim performansları değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışma öğrencilerin aldıkları notlar üzerinden istatistiksel olarak incelenmiştir.

Yapılan bu çalışma sonucunda dört önemli çıktıya ulaşılmıştır:

- İlk olarak yığma yapıların ve bileşenlerinin yapısal davranışı hakkında temel bir anlayış geliştirilerek öğrenciler üç boyutlu uygulamalar (maket) ile etkin bir takım çalışmasına yönlendirilmiştir. Bu sayede iş bölümü yapmayı, birlikte çalışmayı ve birbirlerinin bilgilerinden faydalanmayı öğrenmişlerdir.
- Grup çalışması, öğrencilerin dersin teorik kısmında öğrenemedikleri veya kaçırdıkları kısımları birbirlerinden öğrenmelerini, çözüm bulamadıkları takdirde hocalarına danışmalarını sağlayarak, konunun irdelenmesini sağlamıştır. Devamında ödev olarak çizim yapmak ise konuyu iyice pekiştirmiştir.
- En önemli çıktılardan bir diğeri ise öğrencilerin derslerin dönem boyunca ilerlemesi ile öğrendikleri bilgileri bir sonraki ödevlerine aktarmaları, her hafta bir önceki konuyu tekrar etme şansına sahip olmaları ve final teslimi olan hobi evini tasarlarken temelinden çatısına kadar tüm yapı elemanlarını deneyimlemeleridir.
- Hobi evi projesi ile her öğrenci derste öğrendiği bilgiyi kullanarak kendi tasarımını üretmiştir.

Öğrencilerin bu dersin öğrenim çıktısı olan yapı yapım tekniği detaylarını sözlü ve iki boyutlu ve üç boyutlu çizim ve maketlerle sunma becerisi kazanmaları sağlanmış, dersin işleyişi doğrultusunda bazı temel konuları içselleştirdikleri görülmüştür. Ayrıca aşağıda listelenmiş olan sonuçlar bu araştırmanın çıktılarıdır:

- Dersin uygulama kısmında yapılan maket çalışması, ödev çizimleri için altyapı oluşturarak konunun pekiştirilmesini sağlamıştır.
- Ders dönemi süresince, ders öncesinde yapılan ve Microsoft Teams üzerinden kaydedilen iki örnek çizim değerlendirmesi, değerlendirme kriterleri ve detaylı geri dönüşlerin yapılması ile çizimlerde karşılaşılan hatalarının azaldığı sonucuna ulaşılmaktadır.
- Dersin içeriğinde öğretilmiş olan tüm konuların bir sonraki konuya eklenerek devam ettiği göz önünde bulundurulduğunda bir sonraki hafta verilen ödevlerde daha önceki hatalara rastlama oranı düşmüştür.
- Yapılan analizlerin sonucunda dersin iskeleti ve değerlendirme kriterlerine bağlı olarak haftalar ilerledikçe öğrencilere daha az geri dönüşte bulunulmuş, özellikle teknik çizim kuralları kapsamında pafta düzeni, çizim kalitesi ve ölçü/bilgi eksikliği kriterlerinin puanlarında artış gözlemlenmiştir.

- Değerlendirmeye göre duvar ve temel ile karşılaştırıldığında, döşeme çizimlerinde daha az hata yapıldığı görülmüştür. Bu sonuçta uygulama kısmında yığma duvar ve temel konularında maket yapılmamasının, döşemede ise maket yapımının çizimin başarısında bir etmen olduğu düşünülebilir.

- Yapı Teknolojisi ve Bilimi I dersinde temel konusunun işlenmesinin üzerine anlatılan merdiven elemanında, şu ana kadar öğrenilen yapı elemanlarının merdivenle birlikte çizilmesinden gözlemlendiği kadarıyla temel çizimindeki hataların minimuma indiği ve temel çizim mantığının anlaşıldığı tespit edilmiştir.

- Öğrencilerin çatı detaylandırmasında özellikle nokta detayı çiziminde eksik oldukları görülmüştür. Kural ve standartlar, çatıların bina ölçeğine uygun olarak çözümlenmesi ve farklı projelere ait detayların oluşturulması özel bir yaklaşım gerekmektedir. Burada çatı konusunun çok bileşeni olması ve konunun karmaşıklığından kaynaklı iki haftadan daha uzun bir süreye yayılması gerekliliği doğmuştur.

Yapı elemanları çeşitlerinin projeye uygunluğuna karar vermek, projeye yapı elemanlarının nasıl entegre edileceğini öğrenmek bu dersin kapsamı dışındadır. Farklı yapı malzemeleri ve uygulamalarını öğrenmek için mimarlık bölümünde ayrı dersler düşünülmelidir.

TEŞEKKÜR

Yapı Teknolojisi ve Bilimi I dersinin yürütücülüğünü yapan ve bu çalışmanın geliştirilmesi için katkılar sağlayan değerli hocamız sayın Prof. Dr. Koray Korkmaz'a teşekkür ederiz. Ayrıca derse katkı sunan Kerem Şerifaki, Özge Deniz Toköz, Şeyma Sarıbekiroğlu, Ilgın Çataroğlu, Mümine Gerçek Şen ve Berkay Batuhan Bostan hocalarımıza teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Feng, X. (2014). Research on the Dialectics in Architecture Design Idea. In 2nd International Conference on Advances in Social Science, Humanities, and Management (ASSHM-14), Aralık 2018, 321-323.
- [2] Pekdoğan, T., Efeoğlu, M. & Seçal Sarıgül, S. (2023). Mimari Tasarıma Giriş Stüdyosu'nda Çevre Analizlerinin Tasarım Sürecine Etkisi, *Online Journal of Art and Design*, 11(4), 26-33.
- [3] Mihlayanlar, E., & Tachir G. (2019). Mimarlık Eğitiminde Bilgisayar Destekli Tasarımdan Bina Enformasyonuna. *Artium*, 7(2), 167-179.
- [4] Özkaynak, M., & Acar Ata, İ. (2018). Mimari Tasarım Eğitiminde Yaz Okulu Deneyimi: Öğrenci Performansı Üzerinden Bir Değerlendirme. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 9(19), 77-92.
- [5] İlerisoy, Z. Y., & Ayci, H. (2019). Mimarlık Son Sınıf Öğrencilerinin Alan Seçimlerine Yönelik Bir Değerlendirme. *Eğitim ve Toplum Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 192-214.
- [6] Bodur, A., Sevim Koşan, N., ve Görmüş, Y. (2020). Mimarlık Eğitiminde Maket: Örnek Bir Yapı Bilgisi Dersi Uygulaması. *Uluslararası Sosyal Bilimler Eğitimi Dergisi*, 6(2), 128-145.
- [7] Latif Rauf, H., & S Shareef, S. (2019). Understanding the Relationship Between Construction Courses and Design in Architectural Education. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3), 3201-3207.
- [8] Sönmez, M. (2019). Mimari Tasarım Eğitiminde Yapı Teknolojisi Derslerine Alternatif Bir Yaklaşım: TOBB ETÜ Mimarlık Bölümü 1. Sınıf Yapı Teknolojisi Dersleri. 4. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi: Yapı Sektöründe Yenilikçi Yaklaşımlar, Aralık 2018, Antalya, 63-74.
- [9] Gündoğmuş, M. E., Kalfa, V. R. & Başkaya, H. (2022). Real Estate Valuation and Statistical Analysis. *Journal of Suleyman Demirel University Institute of Social Sciences*, 1(42), 173-197.



Araştırma Makalesi - Research Article

Elastik Yarı Düzlem İçin Bir Hareketli Yük Problemi

A Moving-Load Problem for Elastic Half-plane

İpek Akkaya^{1*}, Elçin Yusufoglu²

Geliş / Received: 17/02/2023

Reviz / Revised: 23/03/2023

Kabul / Accepted: 24/03/2023

ÖZ

Bu çalışmada elastik bir yarı düzlemin sınırı boyu sabit hızla hareket eden bir normal kuvvetin etkisini dikkate alan bir dinamik problem konu edilmiştir. Lamé hareket denklemi ve sınır koşulları boyuna ve enine dalga fonksiyonları cinsinden ilgili sınır değer probleminde indirgenmiştir. Daha sonra hareketli koordinat sisteminden durağan koordinat sistemine geçilerek bu sınır değer problemi Fourier dönüşümü yardımıyla diferansiyel denklemler için sınır değer problemlerine indirgenmiştir. Fourier düzleminde boyuna ve enine dalga fonksiyonlarının ilgili integral dönüşümü belirlenmiş olup ters Fourier tekniği kullanılarak, nihayet yer değiştirme bileşenleri belirlenmiştir. Normal yükün hareket hızının Rayleigh dalga hızından küçük ve büyük olduğu durumlar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Potansiyel Fonksiyonları, Fourier Dönüşümü, Rayleigh Dalga Hızı*

ABSTRACT

In this study, a dynamic problem that takes into account the effect of a normal force moving at a constant speed along the boundary of an elastic half-plane has been discussed. The Lamé equation of motion and the boundary conditions have been reduced to the related boundary value problem in terms of longitudinal and transverse wave functions. Then, by switching from the moving coordinate system to the stationary coordinate system, this boundary value problem was reduced to boundary value problems for differential equations with the help of the Fourier transform. The corresponding integral transformation of the longitudinal and transverse wave functions in the Fourier plane was determined and the displacement components were finally determined using the inverse Fourier technique. Cases in which the moving speed of a normal load is smaller and larger than the Rayleigh wave speed have been studied.

Keywords- *Potential Functions, Fourier Transform, Rayleigh Wave speed*

^{1*}Sorumlu yazar iletişimi: akkayaipek98@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-9053-9522>)

Matematik Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye

²İletişim: elcin.yusufoglu@usak.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-8091-5785>)

Matematik Anabilim Dalı, Uşak Üniversitesi, Uşak Üniversitesi Fen ve Edebiyat Fakültesi, Uşak, Türkiye

I. GİRİŞ

Günümüzde elastik bir taban üzerine yerleştirilmiş yapılar, plaklar ve kirişler yaygın olarak kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yapılar üzerindeki dinamik etkiler arttıkça titreşim önleyici koruma gereksinimleri de artıyor. Yapıların salınımlarıyla ilgili birçok pratik önemli problemler elastiklik teorininin dinamik temas problemleri olarak incelenebilmektedir.

Küçük dalgalanmalar durumunda elastiklik teorisi denklemlerinin kullanımı, pratik ve teori arasında tatmin edici uygunluk sağlamaktadır. Bu dalgalanmalar çatlak ve darbe mekaniğinde dinamik temas problemleri olarak incelenmektedir. Bir matematiksel elastiklik problemi gibi dinamik temas problemlerine [1-5] kaynaklarında detaylı yer verilmiştir.

Jeofizik ve inşaat mühendisliği uygulamalarında homojen olmayan yarı uzaylar için yüzey dalgalarının davranışı incelendi [6,7]. Bu çalışmalarda nonhomojenite parametresinin ve tabaka kalınlıklarının yüzey dalgasının faz hızına etkisi araştırıldı. Yüzey dalgaları fiber takviyeli polimerle güçlendirilmiş beton yapıları ve kompozit gibi mekanik ve inşaat mühendisliği yapılarını incelemek ve değerlendirmek için yaygın olarak dikkate alınmaktadır [8-10]. Xu ve Ma,[11] çalışmalarında çok katmanlı bir yarı uzayın periyodik hareketli bir yüke tepkilerini araştırdılar.

Yüzey dalgalarının elastik ortama etkisi araştırılır iken integral dönüşüm tekniği sıkça kullanılmaktadır. Fourier İntegral Dönüşümünün kullanıldığı bu makalede, yüzeyi boyunca sabit hızla hareket eden noktasal normal yükün etkisiyle yarı uzayda oluşan gerilme deformasyon problemi yer değişme vektörü bileşenleri cinsinden çözülmüş olup normal yükün hareket hızının Rayleigh dalga hızından küçük ve büyük olduğu durumlar ayrıca incelenmiştir.

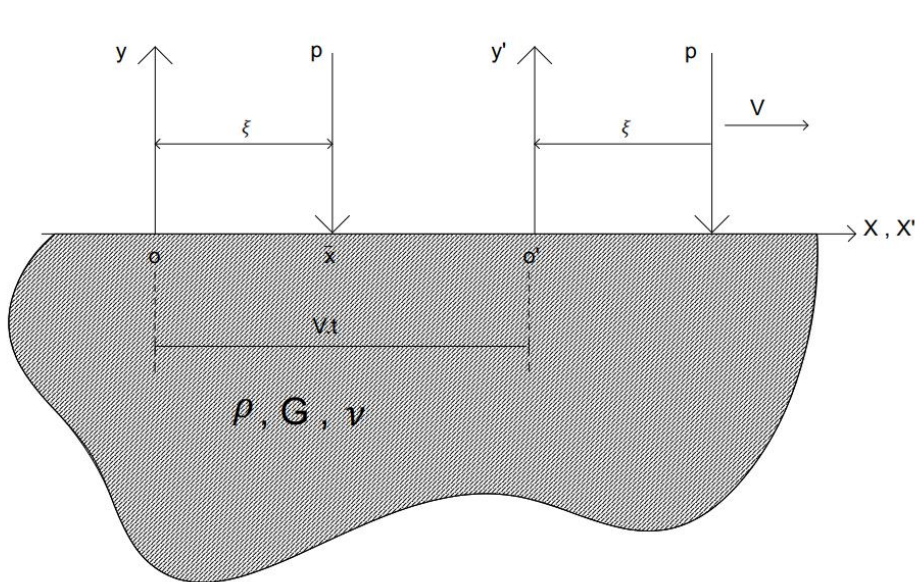
II. PROBLEM TANITIMI VE FORMÜLASYONU

Düzlem deformasyon durumu koşulları altında elastik yarı düzlemin sınırı ($-\infty < x < +\infty, y < 0$) boyunca sınıra dik yönde uygulanan P kuvveti sabit V hızıyla sağa doğru hareket etmektedir. Başlangıç anında P kuvvetinin uygulandığı nokta ξ noktasıdır (Şekil 1). Yarı düzlemin yoğunluğu ρ , kayma modülü G ve Poisson katsayısı ν dir. Sınır koşulları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$y = 0 \text{ iken } \sigma_y = -P\delta(x - \xi - Vt), \quad \tau_{xy} = 0 \quad (1)$$

$x^2 + y^2 \rightarrow \infty$ iken yarı düzlemde gerilmeler yok olmaktadır. Burada σ_y ve τ_{xy} , sırasıyla, normal ve teğetsel gerilmeler olup (x, y) koordinatlarının ve t zaman değişiminin birer fonksiyonlarıdır, $\delta(x)$ delta fonksiyonudur.

Yer değiştirme vektörünün bileşenlerinin bulunması istenmektedir. Bu bileşenler belirlendikten sonra, Rayleigh dalga hızı V_R olmak üzere $V < V_R$ ve $V > V_R$ durumlarında yerdeğiştirme bileşenlerinin davranışları belirlenecektir



Şekil 1. Yarı düzlem için hareketli noktasal yük probleminin geometrisi

Düzlem deformasyon durumu koşullarında izotrop cismin hareket denklemleri

$$\begin{aligned} (1 - 2\nu)\Delta u + \frac{\partial \theta}{\partial x} &= b\ddot{u} \\ (1 - 2\nu)\Delta v + \frac{\partial \theta}{\partial y} &= b\ddot{v} \\ \Delta &= \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}, \quad \theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \end{aligned} \quad (2)$$

şekline sahiptir.

Burada $b = \frac{\rho}{G}(1 - 2\nu)$; u, v yerdeğiştirme vektörünün sırasıyla x, y yönünde bileşenleri olup inceleyeceğimiz durumda u ve v fonksiyonları (x, y) koordinat bileşenleri ve t zaman değişimlerinin birer fonksiyonlarıdır, yani $u = u(x, y, t)$, $v = v(x, y, t)$ dir.

Gerilme-Yer değiştirme bağıntıları aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{2G}{1-2\nu} \left[(1 - \nu) \frac{\partial u}{\partial x} + \nu \frac{\partial v}{\partial y} \right] \\ \sigma_y &= \frac{2G}{1-2\nu} \left[\nu \frac{\partial u}{\partial x} + (1 - \nu) \frac{\partial v}{\partial y} \right] \\ \tau_{xy} &= G \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$u(x, y, t)$ ve $v(x, y, t)$ bilinmeyen fonksiyonları

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (4)$$

şeklinde bulunacaktır. Burada $\varphi(x, y, t)$ fonksiyonu boyuna dalgaları, $\psi(x, y, t)$ fonksiyonu ise enine dalgaları temsil eden potansiyel fonksiyonlarıdır. $\varphi(x, y, t)$ ve $\psi(x, y, t)$ fonksiyonlarının tanımlarından görüldüğü gibi

$$\Delta \varphi = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = \theta \quad \Delta \psi = \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x}$$

sağlanmaktadır.

Denklem (2) ve Denklem (4)'ten görüldüğü gibi $\varphi(x, y, t)$ ve $\psi(x, y, t)$ potansiyel fonksiyonları

$$\begin{aligned} c_1^2 \Delta \varphi &= \ddot{\varphi}, \\ c_2^2 \Delta \psi &= \ddot{\psi} \end{aligned} \quad (5)$$

hiperbolik denklemlerini sağlamaktadır. Burada;

$$c_1^2 = \frac{2G}{1-\nu} [\rho(1 - 2\nu)]^{-1}, \quad c_2^2 = \frac{G}{\rho} \quad (6)$$

kullanıldı. c_1 ve c_2 sabitleri sırasıyla boyuna ve enine dalgaların yayılma hızlarıdır.

$y' = y$, $x' = x - Vt$ kabul ederek, hareket eden $Ox'y'$ koordinat sistemine geçelim.

$$\begin{aligned} \sigma_x(x', y') &= G \left[(1 - \beta^2) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x'^2} + 2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x' \partial y'} \right] \\ \sigma_y(x', y') &= -G \left[(1 + \gamma^2) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x'^2} + 2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x' \partial y'} \right] \\ \tau_{xy}(x', y') &= G \left[\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y'^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x'^2} + 2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x' \partial y'} \right] \end{aligned} \quad (7)$$

Burada ; $\beta^2 = 1 - \frac{V^2}{c_1^2}$, $\gamma^2 = 1 - \frac{V^2}{c_2^2}$ kabul edildi. $Ox'y'$ koordinat sisteminde Denklem (5) aşağıdaki şekle dönüşecektir.

$$\begin{aligned} \beta^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y'^2} &= 0 \\ \gamma^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y'^2} &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Denklem (3) ve Denklem (4), Denklem (1) de yerine yazılır ve

$$\frac{1-\gamma^2}{1-\beta^2} = \frac{2G(1-\nu)}{\rho(1-2\nu)} \quad \frac{1+\gamma^2-2\beta^2}{1-\beta^2} = \frac{-2\nu}{1-2\nu} \quad (9)$$

eşitlikler kullanılırsa sonuçta $Ox'y'$ koordinat sisteminde sınır koşulları aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$y = y' = 0$ için

$$\begin{aligned} (1 + \gamma^2) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x'^2} + 2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x' \partial y'} &= \frac{P}{G} \delta(x' - \xi) \\ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y'^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x'^2} + 2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x' \partial y'} &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Denklem (8) ve Denklem (10) sınır değer problemini çözmek için Fourier integral dönüşümünü kullanalım.

$$\begin{aligned} \varphi(x', y') &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(\alpha, y') e^{-i\alpha x'} d\alpha \\ \psi(x', y') &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(\alpha, y') e^{-i\alpha x'} d\alpha \end{aligned} \quad (11)$$

(11) denklemini (8) ve (10) denklemlerinde yerine yazarsak Φ ve Ψ Fourier dönüşümleri cinsinden

$$\begin{aligned} -\alpha^2 \beta^2 \Phi + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y'^2} &= 0 \\ -\alpha^2 \gamma^2 \Psi + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y'^2} &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

diferansiyel denklemleri ve $y = y' = 0$ için

$$\begin{aligned} -\alpha^2 (1 + \gamma^2) \Phi - 2i\alpha \frac{\partial \Psi}{\partial y'} &= \frac{P}{G} e^{i\alpha \xi} \\ -\alpha^2 (1 + \gamma^2) \Psi + 2i\alpha \frac{\partial \Phi}{\partial y'} &= 0 \end{aligned} \quad (13)$$

sınır koşulları türetiler.

(12) denklemlerinin genel çözümleri

$$\begin{aligned} \Phi(\alpha, y') &= k_1(\alpha) e^{\beta|\alpha|y'} + k_2(\alpha) e^{-\beta|\alpha|y'} \\ \Psi(\alpha, y') &= m_1(\alpha) e^{\gamma|\alpha|y'} + m_2(\alpha) e^{-\gamma|\alpha|y'} \end{aligned}$$

olmaktadır. Fakat $y' \rightarrow -\infty$ iken $\Phi(\alpha, y')$ ve $\Psi(\alpha, y')$ sifira gitmesi gerektiği için

$k_2(\alpha) = 0$ ve $m_2(\alpha) = 0$ olmalıdır. O halde (12) denklemlerinin genel çözümleri

$$\begin{aligned} \Phi(\alpha, y') &= k_1(\alpha) e^{\beta|\alpha|y'} \\ \Psi(\alpha, y') &= m_1(\alpha) e^{\gamma|\alpha|y'} \end{aligned} \quad (14)$$

olacaktır.

$y = y' = 0$ iken (13) denklem koşulları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\begin{aligned} -\alpha^2 (1 + \gamma^2) k_1(\alpha) - 2i\alpha \gamma |\alpha| m_1(\alpha) &= \frac{P}{G} e^{i\alpha \xi} \\ -\alpha^2 (1 + \gamma^2) m_1(\alpha) + 2i\alpha \beta |\alpha| k_1(\alpha) &= 0 \end{aligned} \quad (15)$$

(15) denklemleri $k_1(\alpha)$ ve $m_1(\alpha)$ cinsinden doğrusal denklem sistemi oluşturmaktadır ve çözümü

$$\begin{aligned} k_1(\alpha) &= \frac{P (1 + \gamma^2) e^{i\alpha \xi}}{G 4\alpha^2 \beta \gamma (1 - B)} \\ m_1(\alpha) &= \frac{P 2i\beta \text{sgn}(\alpha) e^{i\alpha \xi}}{G 4\alpha^2 \beta \gamma (1 - B)} \end{aligned} \quad (16)$$

olmaktadır. Burada

$$B = \left(1 - \frac{(1+\gamma^2)^2}{4\beta\gamma}\right) \quad (17)$$

kullanıldı. (16) denklemi (14) denklemlerinde yerine yazılırsa ,

$$\begin{aligned} \Phi(\alpha, y') &= \frac{P}{G} \frac{(1+\gamma^2)}{4\alpha^2\beta\gamma(1-B)} e^{\alpha\beta y'} \\ \Psi(\alpha, y') &= \frac{P}{G} \frac{2i\beta \text{sign}(\alpha)}{4\alpha^2\beta\gamma(1-B)} e^{\alpha\gamma y'} \end{aligned} \quad (18)$$

elde edilir. (18) denklemi (11) denklemlerinde yerine yazılırsa φ ve ψ potansiyel fonksiyonları

$$\begin{aligned} \varphi(x', y') &= \frac{1}{2\pi} \frac{2P(1+\gamma^2)}{4G\beta\gamma(1-B)} \int_0^{+\infty} \frac{1}{\alpha^2} \cos \alpha(x' - \xi) e^{\beta\alpha y'} d\alpha \\ \psi(x', y') &= \frac{1}{2\pi} \frac{i\beta P}{G\beta\gamma(1-B)} \int_0^{+\infty} \frac{1}{\alpha^2} \sin \alpha(x' - \xi) e^{\alpha\gamma y'} d\alpha \end{aligned} \quad (19)$$

olarak bulunur. φ ve ψ fonksiyonlarının x' , ve y' bağımsız değişkenlerine göre kısmi türevleri aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial x'} &= -\frac{1}{2\pi} \frac{2P(1+\gamma^2)}{4G\beta\gamma(1-B)} \int_0^{+\infty} \frac{\sin \alpha(x' - \xi)}{\alpha} e^{\beta\alpha y'} d\alpha \\ \frac{\partial \varphi}{\partial y'} &= \frac{1}{2\pi} \frac{2P\beta(1+\gamma^2)}{4G\beta\gamma(1-B)} \int_0^{+\infty} \frac{\cos \alpha(x' - \xi)}{\alpha} e^{\beta\alpha y'} d\alpha \\ \frac{\partial \psi}{\partial x'} &= \frac{1}{2\pi} \frac{i\beta P}{G\beta\gamma(1-B)} \int_0^{+\infty} \frac{\cos \alpha(x' - \xi)}{\alpha} e^{\alpha\gamma y'} d\alpha \\ \frac{\partial \psi}{\partial y'} &= \frac{1}{2\pi} \frac{i\beta P\gamma}{G\beta\gamma(1-B)} \int_0^{+\infty} \frac{\sin \alpha(x' - \xi)}{\alpha} e^{\alpha\gamma y'} d\alpha \end{aligned}$$

$Ox'y'$ koordinat sisteminde $u(x', y')$ ve $v(x', y')$ yer değiştirme fonksiyonlarının ifadeleri (4) yardımıyla

$$\begin{aligned} u(x', y') &= -\frac{1}{4\pi} \frac{P}{G(1-B)} \frac{1+\gamma^2-2\beta\gamma}{\beta\gamma} \int_0^{+\infty} \frac{\sin \alpha(x' - \xi)}{\alpha} e^{\beta\alpha y'} d\alpha \\ v(x', y') &= -\frac{1}{4\pi} \frac{P(1-\gamma^2)}{G\gamma(1-B)} \int_0^{+\infty} \frac{\cos \alpha(x' - \xi)}{\alpha} e^{\beta\alpha y'} d\alpha \end{aligned} \quad (20)$$

şekline dönüşecektir.

Bilindiği üzere aşağıdaki eşitlikler doğrudur:

$$\int_0^{\infty} \frac{\cos \xi x}{\xi} d\xi = -\ln|x|, \quad \int_0^{\infty} \frac{\sin \xi x}{\xi} d\xi = \frac{\pi}{2} \text{sign}(x)$$

O halde $y = y' = 0$ iken

$$\begin{aligned} v(x', 0) &= \frac{-1}{4\pi} \frac{P(1-\gamma^2)}{G\gamma(1-B)} [-\ln|x' - \xi|] \\ u(x', 0) &= \frac{P(1+\gamma^2-2\beta\gamma)}{2G\beta\gamma(1-B)} \text{sign}(x' - \xi) \end{aligned} \quad (21)$$

ifadeleri elde edilir.

Bilindiği üzere Rayleigh denklemi aşağıdaki şekildedir.

$$4\sqrt{1 - \frac{V_R^2}{c_1^2}} \sqrt{1 - \frac{V_R^2}{c_2^2}} - \left(2 - \frac{V_R^2}{c_2^2}\right)^2 = 0$$

β ve γ 'nın yukarıdaki tanımlarını kullanırsak, Rayleigh denkleminde

$$B = \frac{(1+\gamma^2)^2}{4\beta\gamma} = 1$$

olduğu görülecektir.

$x' = x - Vt$ $y' = y$ bağıntıları dikkate alınarak $u(x, 0, t)$ ve $v(x, 0, t)$ yerdeğiştirme bileşenleri aşağıdaki şekilde bulunacaktır.

$$\begin{aligned} v(x, 0, t) &= \frac{-1}{4\pi G\gamma(1-B)} \frac{P(1-\gamma^2)}{G\gamma(1-B)} [-\ln|x - \xi - Vt|] \\ u(x, 0, t) &= \frac{P(1+\gamma^2-2\beta\gamma)}{2G\beta\gamma(1-B)} \text{sign}(x - \xi - Vt) \end{aligned} \quad (22)$$

III. SONUÇLAR

Bu çalışmada, homojen izotrop yarı düzlemin sınırı boyunca sınıra P dik kuvvetin sabit hızla hareketine bağlı olarak yatay ve dikey yer değiştirme bileşenleri, normal ve teğetsel gerilmeler belirlenmiştir. P kuvvetinin hareket hızının Rayleigh hızından (V_R) küçük olduğu durumda $v(x, 0)$ yer değiştirme bileşenin hareket yönünün P kuvvetinin hareket yönüyle aynı olduğu görülmüştür. $V_R < V$ durumunda $v(x, 0)$ yer değiştirme bileşenin hareket yönü P kuvvetinin hareket yönünün zıttı istikameti olmuştur. $V_R = V$ durumunda (21)' den görüldüğü gibi $v(x, 0)$ 'in ifadesinde payda sıfır olmaktadır. Noktasal yükün hareket hızının $V = V_R$ değeri civarındaki davranışları, yani Rayleigh hızına yakın hızlardaki davranışları, "sub-Rayleigh" ($V_R > V$), "süper-Rayleigh". ($V_R < V$) ve limit rezonans ($V_R = V$) başlıkları altında ileriki çalışmanın konusu olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Poruchikov, V.B. (1993). Methods of the Classical Theory of Elastodynamics. *Springer-Verlag* Berlin Heidelberg .
- [2] Gakenheimer, D.C. (1971). Response of elastic half-space to expanding surface loads. *J. Applied Mechanics* (38), 99-110.
- [3] Achenbach, J. D. (1973). Wave Propagation in Elastic Solids. *North-HollandElsevier*, Amsterdam.
- [4] Payton, R. G. (1983). Elastic Wave Propagation in Transversely Isotropic Media, *Matrtinus Nijhoff Publishers*, The Hague.
- [5] Aleksandrov VM, Kovalenko YeV. (1986). Problems of Continuum Mechanics with Mixed Boundary Conditions. Moscow, Nauka.
- [6] Gupta S and Ahmed M. (2017). On Rayleigh Waves in Self-reinforced Layer Embedded over an Incompressible Half-space with Varying Rigidity and Density. *Procedia Eng* (173), 1021–1028.
- [7] Pal PC, Kumar S and Bose S. (2015). Propagation of Rayleigh waves in anisotropic layer overlying a semi-infinite sandy medium. *Ain Shams Eng J* , (6), 621–627.
- [8] Mohseni H and Ng C-T. (2018). Rayleigh Wave propagation and scattering characteristics at debondings in fibre-reinforced polymer-retrofitted concrete structures. *Struct Health Monit*, (18), 303–317.
- [9] Ebrahimejad A, Mardanshahi A and Kazemirad S. (2022). Nondestructive evaluation of coated structures using lamb wave propagation. *Appl Acoust* (185), 108378.
- [10] Abo-Dahab SM, Kilany AA, Allam MNM, Mohamed RA, Rida SZ. (2022). Influence of several fields on Rayleigh waves propagation in a fiber-reinforced orthotropic half-space material under four thermoelastic models. *Waves in Random and Complex Media*, 32(5), 2197–2220.
- [11] Xu L, Ma M. (2022). Dynamic response of the multilayered half-space medium due to the spatially periodic harmonic moving load. *Soil Dyn Earthquake Engn* .157, 107246.



Araştırma Makalesi - Research Article

Enerji Depolamalı Bir Güneş Enerjisi Sisteminde Tepe Tıraşlama ile Yük Profiline İyileştirilmesi

Improving the Load Profile by Peak Shaving in a Solar Energy System with Energy Storage

İlker Dursun^{1*}

Geliş / Received: 25/02/2023

Revize / Revised: 03/06/2023

Kabul / Accepted: 03/06/2023

ÖZ

Artan nüfus, gelişen sanayi ve teknoloji, enerjiye olan talebi her geçen arttırmaktadır. Bununla beraber, küresel ısınma, iklim değişiklikleri ve sürdürülebilirlik gibi etkenler, ilgiyi yenilebilir enerjiye kaydırmaktadır. Ancak yenilebilir enerji sistemlerinin de düzensiz üretim rejimleri nedeniyle, elektrik şebekelerinde istenilen esneklik sağlanamamaktadır. Bu soruna çözüm olarak, yenilenebilir enerji sistemlerinde enerji depolama tesislerinin kurulması fikri ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, bir üniversite yerleşkesinin bir yıllık gerçek elektrik tüketim değerleri incelenmiş, bu yerleşkeye enerji depolamalı bir güneş enerji sisteminin (GES) kurulması durumundaki elektrik üretim ve tüketim değerleri analiz edilmiş, enerji depolama sistemi ile tepe yük tıraşlama yapılarak yük profiline iyileştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Günlük, haftalık, aylık ve yıllık enerji üretim-tüketim değerleri detaylı olarak incelenmiş, yaz ve kış dönemlerinde elektrik üretim ve tüketim profillerindeki değişim, yük tıraşlama ve yenilebilir enerji üretimi ile elektrik şebekesine olan katkılarla beraber, çevresel ve ekonomik etkiler de ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler- *Güneş Enerjisi Sistemleri, Enerji Depolama, Tepe Yük Tıraşlama, Yük Profili İyileştirme*

ABSTRACT

Increasing population, developing industry, and technology lead to increase the demand for energy day by day. However, the factors, such as global warming, climate change, and sustainability are shifting attention to renewable energy. But, the desired flexibility for power grids can't be provided because of the irregular production regimes of renewable energy systems. As a solution to this problem, the idea of energy storage facilities has emerged. In this study, real electricity consumption values of a university campus were examined for one-year period, electricity production and consumption values in case of installing a photovoltaic solar energy system (PV) with energy storage on the roof of the university building were analyzed, and the improvements on the load profile were evaluated with the energy storage system by peak shaving. The university's daily, weekly, monthly, and annual energy production-consumption values, the changes in the electricity production and consumption profiles in the winter and summer seasons were studied detailedly. Also, the contribution to the power grid with the peak shaving and renewable energy production were handled with the environment and economic impacts.

Keywords- *Solar Energy Systems, Energy Storage, Peak Load Shaving, Improving Load Profile*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: ilkerdursun@subu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2550-8666>)

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Esentepe Kampüsü, Sakarya, Türkiye

I. GİRİŞ

Küresel ısınma, hava kirliliği, enerji arzındaki sıkıntılar ve yüksek enerji maliyetleri, günümüzün öncelikli gündemini oluşturmaktadır. Kaynakları tükenmekte olan ve çevre için önemli bir sorun teşkil eden fosil yakıtların kullanımı her geçen gün azalmakta, alternatif enerji kaynaklarının kullanımı ise her geçen gün artmaktadır. Güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle, dalga enerjisi vb. kaynaklardan yenilenebilir enerji üretiminde önemli artışlar gözlenmektedir. Ülkemizde özellikle güneş ve rüzgâr enerjisiyle ilgili yatırımlarda son yıllarda büyük bir artış gözlemlenmektedir. Bununla beraber, bu kaynaklar sürekli ve aynı seviyede enerji üretilmedikleri için, düzensiz rejimde elektrik üretimi sağlarlar. Aynı şekilde tüketim noktalarında da yük profiline göre farklı tüketim rejimleri oluşmakta, elektrik şebekelerinin bu düzensiz üretim ve tüketim karakteristiklerine göre uyarlanması ve planlanması gerekmektedir.

Elektrik tüketim gruplarına bakıldığında, bunların mesken, ticarethane, sanayi, tarımsal sulama ve aydınlatma olmak üzere 5 ana başlıktan oluştuğu görülmektedir. Bu tüketim gruplarının hepsinin kendine özgü yük karakteristikleri mevcuttur. Aydınlatma grubu yalnızca akşamları devreye girerken, tarımsal sulama grubu genellikle yaz döneminde faal olmaktadır. Ticarethaneler ve sanayi tüketicileri ise mesai saatlerine göre tüketim gerçekleştirmektedirler. Meskenlerdeki yük profili ise hane halkının yaşam şekline göre değişkenlik göstermektedir. Elektrik tüketimindeki bu değişken yük profilleri, gündüz, gece, yaz, kış gibi farklı zaman dilimlerinde farklı karakteristikler göstermektedir. Düzensiz rejimdeki bu yük profillerinin ihtiyacı karşılamak üzere, üretim santralleri ile elektrik iletim ve dağıtım şebekeleri gerekli planlamaları ve yatırımları yapmak durumundadır.

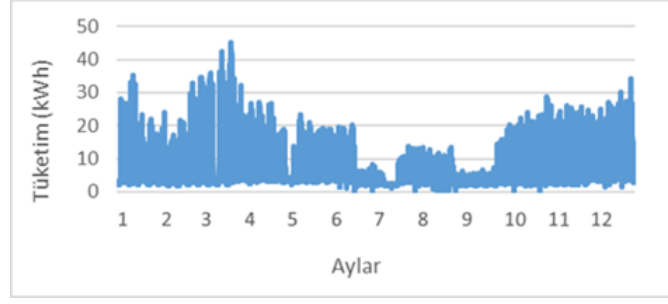
Düzensiz rejimdeki elektrik tüketim talepleri, üretim santralleri ve elektrik şebekelerindeki maliyetleri arttırmaktadır. Aynı şekilde dağıtım sistemine bağlanan ve düzensiz rejimde elektrik üreten güneş ve rüzgâr santralleri de dağıtım sistem operatörlerinin yönetmesi gereken başka bir zorluktur. Bu probleme karşın, talep tarafı yönetimi ve enerji depolama sistemlerinin ön plana çıktığı görülmektedir [1]. Bu sistemlerde, enerji fiyatları ve elektrik üretim miktarına göre talep yükünü yönetimi optimize edilmeye çalışılmaktadır. Son 10 yıldır, batarya enerji depolama sistemleri ve bunların yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyonunda önemli gelişmeler yaşanmaktadır [2]. Uzun dönemli enerji depolama sistemlerinde farklı çözümler mevcuttur. Bunlardan en popüler ve yaygın olarak kullanılanı lityum-iyon bataryalardır [3]. Bu bataryalar, büyük şebeke ölçeğinde yük dengelemek ve yenilenebilir enerji kapasitelerinin arttırmak amacıyla kullanılabilirdiği gibi, aynı zamanda elektrikli araçlar için de büyük bir öneme sahiptir [4]. Bataryaların optimum kullanımı için en önemli araç batarya yönetim sistemidir (BMS). Yenilenebilir enerji kaynaklarının belirsiz üretim rejimleri ve aynı şekilde yük tarafındaki talebin de değişken oluşu, bu problemin çözümünde bataryaları ön plana çıkarmaktadır [5]. Bu amaçla çoklu değişken kriterler içerisinde bulanık mantık teknikleri kullanılarak karar destek sistemleri geliştirilmektedir [6]. Bataryaların daha uzun ömürlü olabilmeleri için, batarya hücrelerinde ve dizlerinde de şarj durumlarına bakılarak optimizasyon çalışmaları yapılmaktadır [7]. Şebekede yenilenebilir enerji ve enerji depolama sistemlerinin farklı uygulamaları olmakla beraber, bunların teknik ve ekonomik analizlerinin de yapılması, yatırım maliyetleri ile elde edilecek faydanın ortaya konulması önemlidir [8].

Bu çalışma kapsamında, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya Meslek Yüksekokulu Binası'nın 2022 yılına ait gerçek elektrik tüketimleri kullanılarak, binaya 150 kWp kapasitesinde güneş enerjisi sistemi ile 100 kWh'lık bir enerji depolama sistemi kurulması durumunda, elektrik üretim, tüketim profillerinin incelenmesi ve depolama sistemi ile tepe tıraşlama senaryoları oluşturularak yük profiline iyileştirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, üniversitenin normal eğitim dönemi ve yaz dönemindeki elektrik tüketim değerlerine göre enerji depolama sisteminin farklı kullanım senaryoları ve elde edilen iyileştirmeler vurgulanmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

A. Elektrik Tüketim Verileri ve Yük Profilleri

Bu çalışmada, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nin (SUBÜ) bir yerleşkesinin 1 Ocak 2022 ile 31 Aralık 2022 dönemine ait saatlik periyotta 1 yıllık elektrik tüketim verisi kullanılmıştır. Veriler, yerleşkede mevcut bulunan uzaktan otomatik sayaç okuma sistemi (OSOS) üzerinden çekilmiştir. Elektrik tüketiminin aylara göre dağılımı Şekil 1'de görülmektedir.



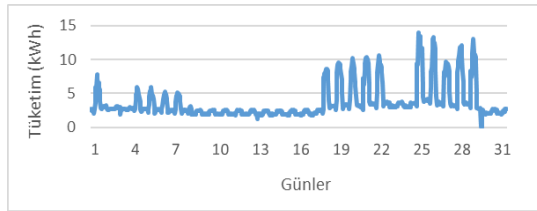
Şekil 1. 2022 yılı elektrik tüketimi

Yük profilleri, tüketici türüne ve kullanım alışkanlıklarına göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin bir ticarethane veya sanayi tipi tüketicide, akşam saatleri ve hafta sonları genellikle elektrik tüketimi gözlenmezken, meskenlerde ise bunun tam tersi durum gerçekleşmekte ve hane halkının evde olduğu zamanlar tüketimler artmaktadır. Bu durum eğitim kurumlarında da farklılık göstermektedir. Çalışmada ele alınan üniversite yerleşkesinde, eğitimin devam ettiği kış ve bahar aylarında yüksek, yaz aylarında ise daha düşük seyreden elektrik tüketimleri Tablo 1’de açıkça görülmektedir.

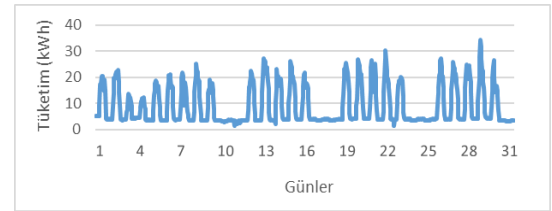
Tablo 1. Aylık Elektrik Tüketim Tablosu

Aylar	Elektrik Tüketimi (kWh)
Ocak	5.367
Şubat	4.675
Mart	7.781
Nisan	5.981
Mayıs	4.844
Haziran	3.845
Temmuz	2.735
Ağustos	3.319
Eylül	2.679
Ekim	5.125
Kasım	5.839
Aralık	6.693
Toplam	58.883

Yük profillerindeki değişimleri daha detaylı kavrayabilmek için, aşağıdaki şekillerde Temmuz ve Aralık aylarına ait aylık, haftalık, günlük ve saatlik elektrik tüketimleri oluşturulmuştur.



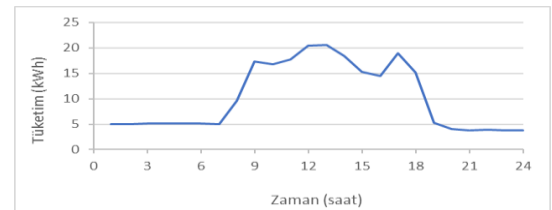
Şekil 2. Temmuz ayı elektrik tüketimi



Şekil 3. Aralık ayı elektrik tüketimi



Şekil 4. Haftalık elektrik tüketimi

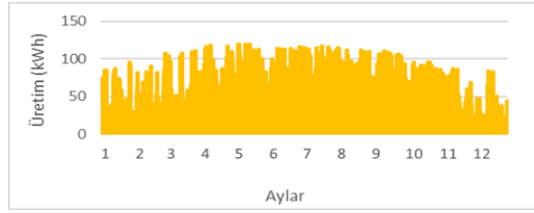


Şekil 5. Günlük elektrik tüketimi

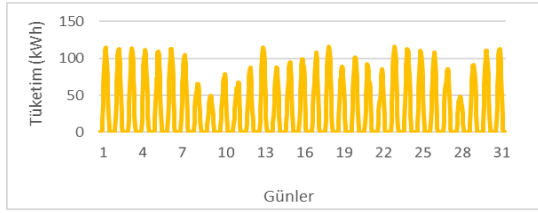
B. Güneş Enerjisi Sistemi (GES) ile Elektrik Üretim Analizleri

Fotovoltaik güneş enerji sistemleri (PV), dünyada en çok büyüyen endüstrilerden biridir. Artan talebi karşılamak ve PV panellerdeki verimi arttırmak için yoğun çalışmalar yapılmaktadır [9]. Yapılan Ar-Ge çalışmaları neticesinde birim alanda üretilen elektrik miktarı artarken, birim elektrik üretimi başına düşen yatırım maliyetleri düşmektedir. Bununla beraber, enerji maliyetlerindeki yükseliş, güneş enerjisi sistemlerine olan talebi arttırmaktadır. Diğer taraftan, enerji arzındaki darboğaz, çevresel kaygılar, fosil kaynaklarının tükenmesi gibi etkenler, ülkelerin yenilebilir enerji konusundaki politikalarını ve yol haritalarını belirlemektedir [10].

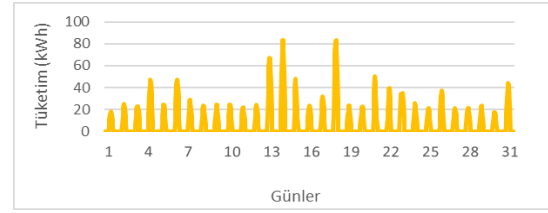
Bu bölümde, SUBÜ yerleşkesinin çatı alanına 150 kWp kapasitede bir GES kurulması durumunda üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı hesaplanmış ve farklı zaman aralıkları için elde edilen üretim miktarları analiz edilmiştir. Üretim değerleri, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Enerji Departmanı Yenilebilir Enerji Laboratuvarı'nın PVWatts isimli uygulaması kullanılarak elde edilmiştir [11]. Elde edilen sonuçlara göre, yıllık toplam elektrik üretimi Şekil 6'da, Temmuz ayı elektrik üretimi Şekil 7'de, Aralık ayı elektrik üretimi ise Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 6. Yıllık elektrik üretimi



Şekil 7. Temmuz ayı elektrik üretimi



Şekil 8. Aralık ayı elektrik üretimi

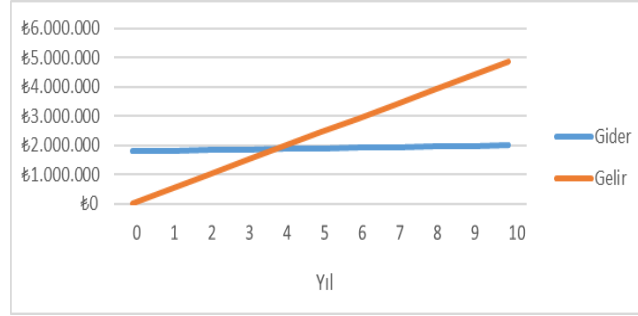
Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, yıllık toplam 178.000 kWh'lik elektrik üretilebileceği, en yüksek üretimin 23.728 kWh ile Temmuz ayında, en düşük üretimin 5.588 kWh ile Aralık ayında meydana geldiği görülmektedir. Tablo 2'de ise, SUBÜ'nün Sakarya ili Serdivan İlçesi'ndeki bir yerleşkesine kurulacak 150 kWp bir GES tesisinin aylık ve yıllık bazda toplam elektrik üretim potansiyeli görülmektedir.

Tablo 2. GES Aylık Elektrik Üretim Tablosu

Aylar	Elektrik Üretimi (kWh)
Ocak	7.494
Şubat	8.263
Mart	12.516
Nisan	16.728
Mayıs	20.716
Haziran	22.571
Temmuz	23.728
Ağustos	21.626
Eylül	18.110
Ekim	12.604
Kasım	8.039
Aralık	5.588
Toplam	177.983

Üniversite yerleşkesine kurulacak GES tesisi için 600 USD/kWp birim fiyat baz alınmıştır. Buna göre kurulması planlanan 150 kWp'lik GES'in maliyeti 90.000 USD etmektedir. Dolar kuru takriben 20 TL alınarak, GES tesis bedeli 1.800.000 TL olarak hesaplanmıştır. 100 kWh'lik lityum-iyon batarya tesisinin yaklaşık maliyeti

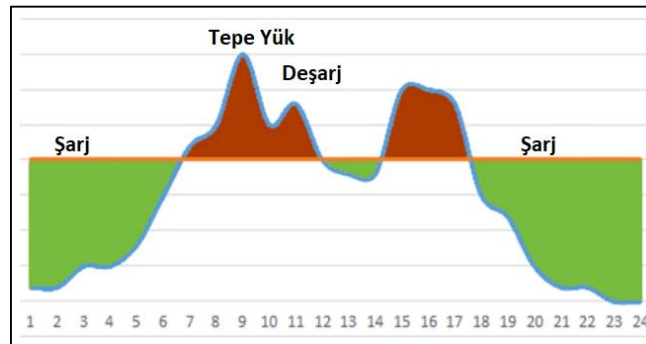
de 200.000 TL olarak alınmıştır. Buna göre GES ve depolama tesisinin toplam maliyeti yaklaşık 2 milyon TL olarak hesaplanmıştır. Tablo 1 ve Tablo 2'ye bakıldığında aylık ve yıllık elektrik üretim-tüketim değerleri görülmektedir. Buna göre yerleşkede 2022 yılında toplam 58.883 kWh elektrik tüketimi gerçekleşirken, mevcut çatı alanına kurulabilecek 150 kWp kurulu güçteki bir GES tesisi ile yıllık 177.983 kWh elektrik üretim potansiyeli olduğu görülmektedir. Bu da 87,5 ton CO₂ salınımının önlenmesine ya da 213 yeni ağaç dikimine karşılık gelmektedir [13]. Söz konusu GES tesisi için yapılacak yatırımın, 4 yıla yakın bir süre içerisinde kendisini amorti edebileceği Şekil 9'da gösterilmektedir. Bu analizde, yatırım miktarı 1.800.000 TL, yıllık bakım maliyeti 20.000 TL, yıllık kazanç ise 488.177 TL olarak alınmış, 10 yıllık bir süreçte gider ve gelir rakamları gösterilmiştir. Elektrik alış ve satış fiyatları, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun ilgili dağıtım tarifesi tablosundan alınmıştır [14].



Şekil 9. Yatırım amortisman süresi

C. Enerji Depolama Sistemleri ile Tepe Yük Tıraşlama

Düzensiz rejimdeki yük talepleri, elektrik üretim, iletim ve dağıtım işletmecileri açısından zorluklar, ilave yatırımlar ve yüksek maliyetler meydana getirmektedir. Bu sebeple talep tarafı yönetimi, tepe yük tıraşlama gibi yöntemler ile tepe yükün azaltılması, daha dengeli ve iyileştirilmiş yük profillerinin oluşturulması hedeflenmektedir [12]. Tüketicilerin esnek ve yönetilebilir yüklerinin belirlenip, bu yüklerin şebekeden maksimum elektrik talebinin olduğu saatlerden, daha düşük talep olan saatlere kaydırılması, talep tarafı yönetimi olarak tanımlanmaktadır. Tepe yük tıraşlama ise, elektrik talebinin en yüksek olduğu zaman dilimlerinde, belirli bir değer üzerinde tepe yükün enerji depolama sistemi üzerinden karşılanması suretiyle yük profiline daha kararlı ve düzgün bir rejime kavuşturulmasıdır. Bu işlem sonucunda enerjisi tükenen (deşarj olan) enerji depolama sistemleri, genellikle elektrik talebinin ve enerji maliyetlerinin düşük olduğu zaman diliminde tekrar şarj edilmektedir. Şekil 10'da tepe yük tıraşlama ile şarj-deşarj süreci görsel olarak daha açık bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 10. Tepe Yük Tıraşlama Örneği

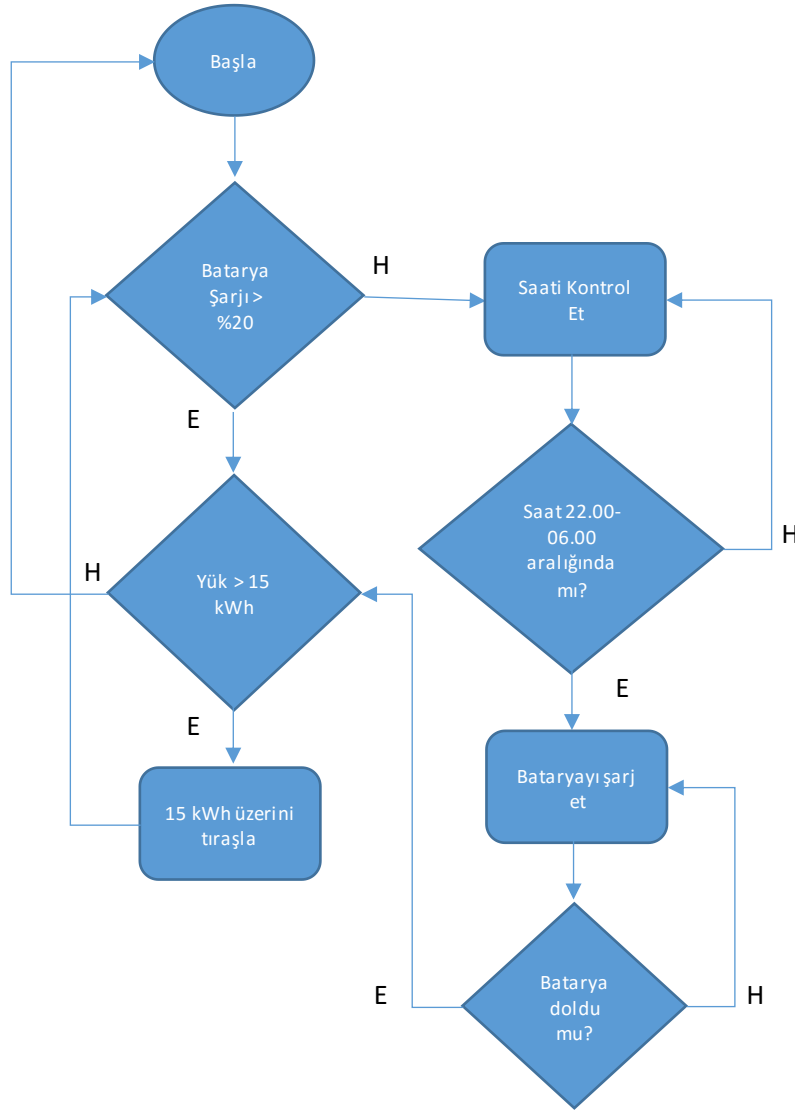
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde, daha önce belirtilen yerleşkeye 100 kWh'lik bir enerji depolama sistemi kurulması durumunda, tepe tıraşlama yöntemi ile yük profilinde yapılabilecek iyileştirmeler analiz edilmiş ve ortaya konulmuştur. Kullanılması öngörülen enerji depolama sisteminin parametreleri Tablo 3'te paylaşılmıştır.

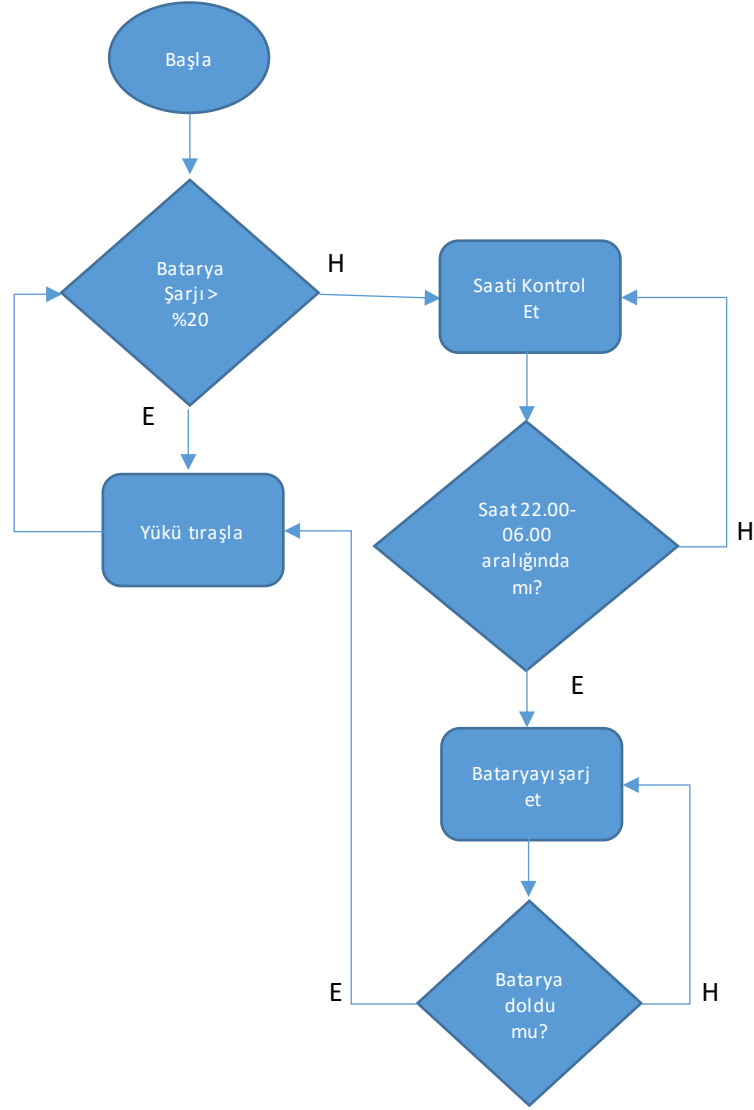
Tablo 3. Enerji Depolama Sistemi Parametreleri

Parametreler	Değerler
Batarya Kapasitesi	100 kWh
Batarya Şarj Etme Gücü	10 kW/h
Şarj Etme Zaman Aralığı	22.00-06.00

Çalışmada iki farklı kurguya göre algoritmalar oluşturulmuştur. Normal eğitim döneminde yükün 15 kWh'tan fazla olan kısmının tıraşlanması, boşalan depolama sisteminin ise 22.00-06.00 zaman aralığında tekrar şarj olmasına göre tasarlanan birinci senaryo algoritması, Şekil 11'de verilmiştir. Yaz dönemi için tasarlanan ve Şekil 12'de paylaşılan ikinci algoritmada ise, elektrik tüketimleri normal eğitim dönemine göre daha düşük olduğu için, yükün tamamının tıraşlanması gerçekleştirilmiştir.

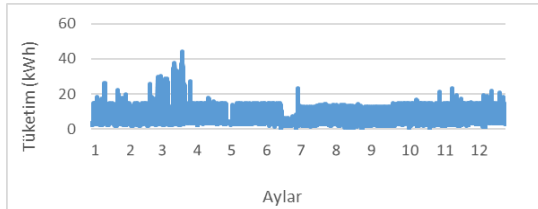


Şekil 11. Senaryo 1 – Normal Eğitim Dönemi Tepe Tıraşlama Algoritması

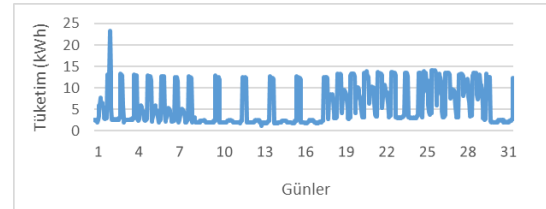


Şekil 12. Senaryo 2 – Yaz Eğitim Dönemi Tepe Tıraşlama Algoritması

Bu senaryolara göre, enerji depolama sistemi tarafından yapılan tepe yük tıraşlama sonrası elde edilen yıllık, aylık, haftalık ve günlük iyileştirilmiş yük profilleri Şekil 13-17’de verilmiştir.

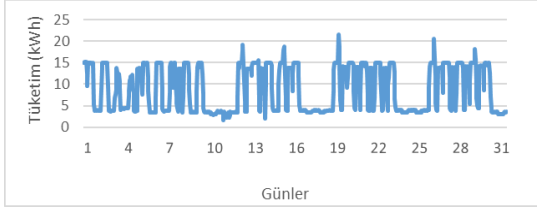


Şekil 13. 2022 yılı tıraşlı elektrik tüketimi

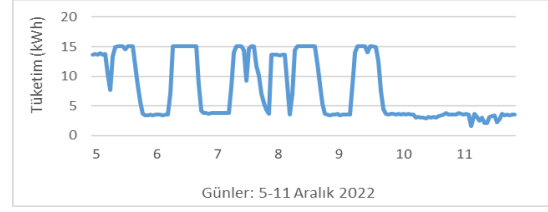


Şekil 14. Temmuz ayı tıraşlı elektrik tüketimi

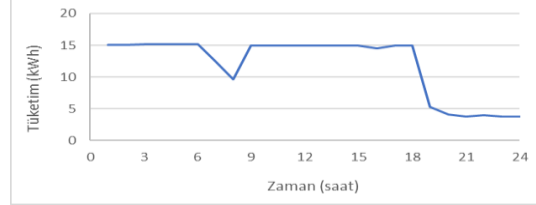
Şekil 13’te, 1 yıllık süre boyunca, iki farklı algoritmaya göre gerçekleştirilen tepe tıraşlama sonrası yük profilindeki iyileşme net olarak görülmektedir. Şekil 14 ve 15’te Temmuz ve Aralık aylarındaki tıraşlama, Şekil 16’da 1 haftalık, Şekil 17’de ise 1 günlük tıraşlama sonrası iyileştirilmiş yük profilleri paylaşılmıştır.



Şekil 15. Aralık ayı traşlı elektrik tüketimi



Şekil 16. Aralık ayı traşlı 1 haftalık elektrik tüketimi



Şekil 17. Aralık ayı traşlı 1 günlük elektrik tüketimi

Gündüz yükün fazla ve enerji maliyetlerinin yüksek olduğu saatlerde, depolama sisteminin kapasitesine göre, belirli bir limitin üzerindeki yükün traşlanması, aynı şekilde gece yükün az ve enerji maliyetlerinin düşük olduğu saatlerde de bataryaların şarj edilmesi suretiyle, yük profillerinde yapılabilecek iyileştirme çok net olarak görülmektedir. Yük profillerindeki bu iyileşme, elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemlerine önemli bir katkı sağlarken, diğer taraftan da enerji verimliliği ve elektrik maliyetleri bakımından önemli bir fayda ortaya koymaktadır. Yük profilinin karakteristiğine ve enerji depolama sisteminin kapasitesine göre, farklı senaryolar belirlenerek, farklı yük profili iyileştirmeleri yapılabilmesi mümkündür.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, OSOS altyapısı kullanılarak bir üniversite yerleşkesinin bir yıllık elektrik tüketim verisi temin edilmiş, saatlik, günlük, haftalık, aylık ve yıllık yük profilleri detaylı olarak analiz edilmiştir. Yaz ve kış dönemleri, hafta içi, hafta sonu, eğitimin açık ve kapalı olduğu farklı zaman periyotlarında yük profillerindeki değişimler incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, bu yerleşkeye 150 kWp'lik çatı tipi bir GES tesisi ve tepe yük traşlama için 100 kWh'lik bir enerji depolama sistemi kurulması durumuna göre senaryoları oluşturulmuş, bu senaryolara göre elde edilecek faydalar, çevreye ve elektrik şebekelerine sağlanacak katkılar değerlendirilmiştir. Oluşturulan yük profillerine bakıldığında, yerleşkenin 1 yıllık toplam elektrik tüketiminin 58.883 kWh olduğu görülmektedir. Buna karşın, yerleşkeye kurulacak 150 kWp'lik GES tesisinin yıllık 178.000 kWh elektrik üreteceği, ortaya çıkan 119.117 kWh'lik ihtiyaç fazlası elektrik üretimi üniversiteye ilave bir gelir sağlarken, şebekeye de önemli bir katkı sunacaktır. Diğer yandan, yerleşkenin 0 ila 60 kWh aralığında, saatlik, günlük, aylık ve mevsimlik olarak oldukça düzensiz rejimde seyreden yük profillerinin, yerleşkeye enerji depolama sisteminin dahil edilmesi ve puant yük traşlama yöntemi uygulanarak büyük bir oranda iyileşme sağlandığı görülmüştür. Tüketimin çok yüksek olduğu Mart ve Nisan ayları dışında, puant elektrik tüketiminin 15 kWh değerinde sınırlandırılabilirdiği tespit edilmiştir. Yüksek tüketimin gerçekleştiği aylarda da, tüketimi belirli bir değerde sınırlamak ve düz bir yük profili elde etmek mümkündür, ancak bu, çok daha yüksek kapasitede bir enerji depolama sistemini, aynı zamanda daha yüksek yatırım maliyetini gerektirmektedir. Bu nedenle, sistem tasarımı yapılırken, sistemin ekonomik kısıtları mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmanın, ileride mesken, ticarethane ve sanayi gibi farklı tipte tüketim grupları için, değişken üretim kapasitesi, yatırım maliyeti ve enerji depolama sistemi senaryolarına göre, yenilebilir enerji kullanımı, enerji verimliliği ve enerji maliyetlerinin iyileştirilmesi çalışmalarına önemli katkılar sağlanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Wang, C., Zhang, Z., Abedinia, O., & Farkoush, S.G. (2021). Modeling and analysis of a microgrid considering the uncertainty in renewable energy resources, energy storage systems and demand management in electrical retail market. *Journal of Energy Storage*, 33, 1-13.
- [2] Wali, S.B., Hannan, M.A., Reza, M.S., Ker, P.J., Begum, R.A., Abd Rahman, M.S., & Mansor, M. (2021). Battery storage systems integrated renewable energy sources: A biblio metric analysis towards future directions. *Journal of Energy Storage*, 35, 1-17.
- [3] Hasan, M.K., Mahmud, M., Ahasan Habib, A.K.M., & Motakabber, S.M.A. (2021). Review of electric vehicle energy storage and management system: Standards, issues and challenges. *Journal of Energy Storage*, 41, 1-10.

- [4] Erdiñ, O., Taşcıkaraoğlu, A., Paterakis, N.G., Dursun, İ., Sinim, & M., Catalao, J.P.S. (2018). Comprehensive Optimization Model for Sizing and Siting of DG Units, EV Charging Stations, and Energy Storage Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(4), 3871-3882.
- [5] Wu, Y., Zhang, T., Gao, R., & Wu, C. (2021). Portfolio planning of renewable energy with energy storage Technologies for different applications from electricity grid. *Applied Energy*, 287, 1-16.
- [6] Amrouche, S.O., Rekioua, D., Rekioua, & T., Bacha, S. (2016). Overview of energy storage in renewable energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 20914-20927.
- [7] Kaiser, R. (2007). Optimized battery-management system to improve lifetime in renewable energy systems. *Journal of Power Sources*, 168, 58-65.
- [8] Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B.V., Pican, & E., Leahy, M. (2012). The technical and economic implications of integrating fluctuating renewable energy using energy storage. *Renewable Energy*, 43, 47-60.
- [9] Lucas, J.N.V., Frances, G.E., & Gonzalez, E.S.M. (2016). Energy security and renewable energy deployment in the EU: Liaisons Dangereuses or Virtuous Circle?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1032-1046.
- [10] Sampaio, P.G.V., & Gonzalez, M.O.A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590-601.
- [11] Amerikan Ulusal Yenilebilir Enerji Laboratuvarı Uygulaması, PVWattsCalculator. (15.01.2023). <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>
- [12] Kalkhambkar, V., RAjesh, K., & Bhakar, R. (2016). Energy loss minimization through peak shaving using energy storage. *Perspectives in Science*, 8, 162-165.
- [13] Avrupa Birliği destekli Karbon Ayak İzi Hesaplama Aracı. (15.01.2023). <https://www.egeorman.org.tr/hesaplayicilar/karbon-ayakizi/>
- [14] Enerji Piyasası Dzenleme Kurumu, Ulusal Elektrik Birim Fiyat Tarifeleri Tablosu. (15.01.2023). <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>



Araştırma Makalesi - Research Article

The Convergence of Some Spectral Characteristics on the Convergent Series

Yakınsak Seriler Üzerinde Bazı Spektral Karakteristiklerin Yakınsaması

Elif Otkun Çevik^{1*}

Geliş / Received: 09/03/2023

Revize / Revised: 27/05/2023

Kabul / Accepted: 29/05/2023

ABSTRACT

In this study, convergence properties of spectral, numerical and Crawford gap functions via convergences of Hilbert space operator series in difference and ratio cases are investigated. Obtained results have been applied to some classes continuous functions of the operators.

Keywords- Operator Norm, Spectral Radius, Numerical Radius, Crawford Number

ÖZ

Bu çalışmada, fark ve oran durumlarında yakınsak Hilbert uzay operatör serileri üzerinden spektral, sayısal ve Crawford boşluk fonksiyonlarının yakınsama özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar operatörlerin bazı sürekli fonksiyon sınıflarına uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler- Operatör Normu, Spektral Yarıçap, Sayısal Yarıçap, Crawford Sayısı

^{1*}Corresponding Author Contact: elifotkuncevik@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-8506-1889>)
Department of Computer Engineering, Avrasya University, Trabzon, Turkey

I. INTRODUCTION

In spectral theory of linear operators, obtaining the spectrum set, the numerical range set of a given operator and calculating spectral radii, numerical radii and Crawford number are main questions. Generally, finding the set of spectrums and the numerical range of non-normal linear bounded operators is theoretically and technically quite difficult.

Throughout this paper, H and $L(H)$ denote any complex Hilbert space with (\cdot, \cdot) is the inner product and $\|\cdot\|$ is its corresponding norm on H and the Banach algebra of linear bounded operators in H , respectively.

In the literature, Gelfand formula is the only one formula used to calculate the spectral radius $r(A) = \sup\{|\lambda|: \lambda \in \sigma(A)\}$ of linear bounded operator $A \in L(H)$. The following is the Gelfand formula:

$$r(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \|A^n\|^{\frac{1}{n}} \quad [1].$$

Note that for a linear bounded normal operator A in H the relation $r(A) = \|A\|$ is true (see [2]).

It is an easy consequence that if $A, B \in L(H)$ are commutative operators, then

$$r(A + B) \leq r(A) + r(B) \quad [2].$$

Recall that the numerical radius of $A \in L(H)$ is defined by

$$w(A) = \sup_{\|x\|=1} |(Ax, x)|.$$

It is known that

$$w(A) = \sup_{t \in \mathbb{R}} \|\operatorname{Re}(e^{it}A)\| = \sup_{t \in \mathbb{R}} \|\operatorname{Im}(e^{it}A)\|$$

(see, e.g. [3]). It is obvious that the function $w(\cdot)$ defines a norm on $L(H)$, which is equivalent to the usual operator norm $\|\cdot\|$. Indeed, for every $A \in L(H)$ the following inequality holds:

$$\frac{\|A\|}{2} \leq w(A) \leq \|A\|. \quad (1)$$

Moreover, for the linear normal bounded operator A the relation $w(A) = \|A\|$ is true (see [2]).

It is well known that for every two operators $A, B \in L(H)$

$$w(A + B) \leq w(A) + w(B) \quad (2)$$

is valid (see [2]).

We refer the reader to [2, 4] for the other basic information and results for the numerical radius. Furthermore, developments on the numerical radius inequalities (1) and (2) can be seen in [3, 5-9] and references there in.

Furthermore, remember that the following spectral inclusion holds $\sigma(A) \subset \overline{W(A)}$ for the spectrum set $\sigma(A)$ and numerical range $W(A)$ of any $A \in L(H)$ (see [2, 4] for more information).

For $A \in L(H)$ the Crawford number of A is defined by

$$c(A) = \inf\{|\lambda|: \lambda \in W(A)\}.$$

It is easily seen that the following inequality holds for every $A \in L(H)$:

$$0 \leq c(A) \leq r(A) \leq w(A) \leq \|A\|.$$

Throughout this paper, for $A \in L(H)$ the spectral gap, the numerical gap and the Crawford gap functions in difference cases will be denoted by

$$g_r(A) := \|A\| - r(A), g_r(A): L(H) \rightarrow [0, \infty),$$

$$g_w(A) := \|A\| - w(A), g_w(A): L(H) \rightarrow [0, \infty),$$

$$g_c(A) := \|A\| - c(A), g_c(A): L(H) \rightarrow [0, \infty),$$

respectively.

Similarly, for $A \in L(H)$ and $A \neq 0$, the spectral gap, the numerical gap and the Crawford gap functions in ratio cases will be denoted by $q_r(T) = \frac{r(T)}{\|T\|}$, $q_w(T) = \frac{w(T)}{\|T\|}$ and $q_c(T) = \frac{c(T)}{\|T\|}$, respectively [10]. The similar problems for square matrices have been investigated in [11].

Demuth's open problem in 2015 and the works of Kittaneh and his researcher group in this area had a significant impact on forming the subject discussed in this paper (see [8, 9, 12]).

Some studies related to this area can be found in [13-18].

This work is organized as follows: In Section 2, convergence properties of spectral, numerical and Crawford gap functions via convergences of Hilbert space operator series in difference and ratio cases have been investigated. Note that here a new inequality for difference Crawford numbers of two operator has been obtained. In Section 3, obtained results have been applied to some classes continuous functions of the operators.

II. ON THE CONVERGENCE OF SOME SPECTRAL CHARACTERISTICS ON THE CONVERGENCE OF OPERATOR SERIES

Firstly, define the uniform convergence of operator series from [19].

Definition 2.1. Let H be a Hilbert space and for any $n \geq 1$, $A_n \in L(H)$. The operator series $\sum_{n=1}^{\infty} A_n$ is said to converges uniformly to $A \in L(H)$ if for any $\varepsilon > 0$ there is some $n_0 \in \mathbb{N}$ such that for all $n > n_0$ it is true that

$$\|A - S_n\| \leq \varepsilon,$$

where $S_n = \sum_{m=1}^n A_m: H \rightarrow H, n \geq 1$.

Now give the following simple fact.

Remark 2.2. If the series $\sum_{n=1}^{\infty} \|A_n\|$ is convergent, then series $\sum_{n=1}^{\infty} A_n: H \rightarrow H$ uniformly converges in H .

Now we give results on the difference gaps repeatedly.

Theorem 2.3. Let $A_n \in L(H), n \geq 1$, the series $\sum_{n=1}^{\infty} A_n$ uniformly converges to some operator $A \in L(H)$ and for any $i, j \geq 1$ the operators A_i and A_j are commutative. Then

$$g_r(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} g_r(S_n).$$

Proof. In this case it is clear that

$$AS_n = S_nA, n \geq 1.$$

Then from the subadditivity property of spectral radius

$$r(A) \leq r(A - S_n) + r(S_n),$$

$$r(S_n) \leq r(A - S_n) + r(A).$$

Since the series $\sum_{n=1}^{\infty} A_n$ is uniformly converges to A , then

$$|r(A) - r(S_n)| \leq r(A - S_n) \leq \|A - S_n\| \xrightarrow[n \rightarrow \infty]{} 0.$$

So, it is obtained that

$$r(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} r(S_n).$$

Consequently, it is clear that

$$|g_r(A) - g_r(S_n)| = |(\|A\| - r(A)) - (\|S_n\| - r(S_n))| \leq \|A - S_n\| + |r(A) - r(S_n)| \leq 2\|A - S_n\|, n \geq 1.$$

Then, since the series $\sum_{n=1}^{\infty} A_n$ is uniformly converges to A , then we get

$$g_r(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} g_r(S_n).$$

Theorem 2.4. If the operator series $\sum_{n=1}^{\infty} A_n, A_n \in L(H), n \geq 1$ uniformly converges to operator $A \in L(H)$, then

$$g_w(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} g_w(S_n).$$

Proof. From the subadditivity property of numerical radius function it is clear that

$$|w(A) - w(S_n)| \leq w(A - S_n) \leq \|A - S_n\| \rightarrow 0, n \rightarrow \infty.$$

From this and uniform convergence of operator series $\sum_{n=1}^{\infty} A_n$ to operator A it is established that

$$w(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} w(S_n).$$

Therefore, the following inequality

$$|g_w(A) - g_w(S_n)| \leq \| \|A\| - \|S_n\| \| + w(A - S_n) \leq \|A - S_n\| + \|A - S_n\| \leq 2\|A - S_n\|, n \geq 1$$

is hold. Consequently, since the series $\sum_{n=1}^{\infty} A_n$ is uniformly converges to A , then we have

$$g_w(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} g_w(S_n).$$

Now prove the following proposition.

Lemma 2.5. For any $A, B \in L(H)$ the following relation

$$|c(A) - c(B)| \leq w(A \pm B)$$

is hold.

Proof. In this case, for any $x \in H$ with $\|x\| = 1$, the following relation

$$|(Ax, x)| = |((A + B)x, x) - (Bx, x)| \geq |((A + B)x, x)| - |(Bx, x)|$$

is true. Then from the last relation it is clear that

$$c(A) \geq c(A + B) - w(B). \tag{3}$$

Similarly, from the following inequality

$$|((A + B)x, x)| = |(Ax, x) - (Bx, x)| \geq |(Ax, x)| - |(Bx, x)|$$

satisfying for any $x \in H$ with $\|x\| = 1$, it implies that

$$c(A + B) \geq c(A) - w(B). \tag{4}$$

Consequently, from inequalities (3) and (4) it implies that

$$|c(A + B) - c(A)| \leq w(B).$$

In this case, if we take $B - A$ instead of B in the last inequality, we have

$$|c(A) - c(B)| \leq w(A - B).$$

Also, from the last relation if we take $-B$ instead of B , then we have

$$|c(A) - c(B)| \leq w(A + B).$$

In this way, the lemma's proof is complete.

Theorem 2.6. If the operator series $\sum_{n=1}^{\infty} A_n$, $A_n \in L(H)$, $n \geq 1$ uniformly converges to operator $A \in L(H)$, then

$$c(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} c(S_n),$$

$$g_c(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} g_c(S_n).$$

Proof. Indeed, by Lemma 2.5, we have

$$|c(A) - c(S_n)| \leq w(A - S_n) \leq \|A - S_n\| \rightarrow 0, n \rightarrow \infty.$$

Hence the validity of claim

$$c(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} c(S_n)$$

is clear. And also, since

$$|g_c(A) - g_c(S_n)| \leq \|A - S_n\| + |c(A) - c(S_n)| \leq 2\|A - S_n\|, n \geq 1,$$

the validity of second claim of theorem is established.

For the ratio gaps the following claim is true.

Theorem 2.7. If the operator series $\sum_{n=1}^{\infty} A_n$, $A_n \in L(H)$, $n \geq 1$ uniformly converges to operator $A \in L(H)$ such that for any $n \geq 1$ $S_n \neq 0$ and $A \neq 0$, then the following conclusions are true

(a) If for any $n \geq 1$ $S_n A = A S_n$, then $q_r(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} q_r(S_n)$,

(b) $q_w(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} q_w(S_n)$,

$$(c) \quad q_c(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} q_c(S_n).$$

Proof. In this case from Theorem 2.3, Theorem 2.4 and Theorem 2.6, it implies that

$$(a) \quad |q_r(A) - q_r(S_n)| \leq \frac{r(A) + \|A\|}{\|S_n\| \|A\|} \|A - S_n\| \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0,$$

$$(b) \quad |q_w(A) - q_w(S_n)| \leq \frac{w(A) + \|A\|}{\|S_n\| \|A\|} \|A - S_n\| \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0,$$

$$(c) \quad |q_c(A) - q_c(S_n)| \leq \frac{c(A) + \|A\|}{\|S_n\| \|A\|} \|A - S_n\| \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0.$$

Example 2.8. Consider the following sequence of operators in Hilbert space of complex-valued functions $L^2(0, 1)$ in form:

$$A_n f(t) := \frac{1}{n(n+1)} \int_0^x f(t) dt, f \in L^2(0, 1), A_n: L^2(0, 1) \rightarrow L^2(0, 1), n \geq 1.$$

Then it is clear that $A_n A_m = A_m A_n, m, n \geq 1, S_n = \sum_{m=1}^n A_m = \left(1 - \frac{1}{n+1}\right) \int_0^x f(t) dt, n \geq 1$ and the sequence (S_n) uniformly converges to Volterra integration operator

$$A f(x) = \int_0^x f(t) dt, f \in L^2(0, 1), A: L^2(0, 1) \rightarrow L^2(0, 1).$$

It is known that $\|A\| = \frac{2}{\pi}$ and $\sigma(A) = \{0\}$ [2]. Therefore, by Theorem 2.3 and Theorem 2.7, it implies that

$$\lim_{n \rightarrow \infty} g_r(S_n) = \frac{2}{\pi} \text{ and } \lim_{n \rightarrow \infty} q_r(S_n) = 0.$$

Example 2.9. Consider the following sequence of operators in real space $L^2(0, 1)$ in form:

$$A_n f(x) := \int_0^x \frac{t}{(1 + (n-1)t)(1 + nt)} f(t) dt, f \in L^2(0, 1), A_n: L^2(0, 1) \rightarrow L^2(0, 1), n \geq 1.$$

In this case, it is clear that

$$S_n f(x) := \int_0^x \left(1 - \frac{1}{1 + nt}\right) f(t) dt, f \in L^2(0, 1), n \geq 1.$$

Using the Lebesgue Dominated Convergence Theorem it can be proved that the series $\sum_{n=1}^{\infty} A_n$ uniformly converges to the Volterra integration operator

$$A f(x) = \int_0^x f(t) dt, f \in L^2(0, 1), A: L^2(0, 1) \rightarrow L^2(0, 1).$$

It well known that $\|A\| = \frac{2}{\pi}$ and $\sigma(A) = \{0\}$ [2] and numerical radius $w(A) = \frac{1}{2}$ [20]. Then by Theorem 2.4, Theorem 2.6 and Theorem 2.7 we have

$$\lim_{n \rightarrow \infty} g_w(S_n) = \frac{2}{\pi} - \frac{1}{2} = \frac{4-\pi}{2\pi} \text{ and } \lim_{n \rightarrow \infty} q_w(S_n) = \frac{\pi}{4},$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} g_c(S_n) = \frac{2}{\pi} \text{ and } \lim_{n \rightarrow \infty} q_c(S_n) = 0.$$

III. APPLICATION

Now it will be given one important function class $(\Lambda_\omega)_+$ (see [21]). Let ω be a modulus of continuity, i.e., ω be a nondecreasing continuous function on $[0, \infty)$ such that $\omega(0) = 0$ and for $x > 0, \omega(x) > 0$ with property $\omega(x + y) \leq \omega(x) + \omega(y), x, y \in [0, \infty)$. And also, it will be denoted by $\mathbb{D} := \{z \in \mathbb{C} : |z| < 1\}$ unit disc and $\mathbb{A}(\mathbb{D})$ class of all analytic functions on \mathbb{D} .

Let us denote one space of analytic functions

$$(\Lambda_\omega)_+ := \left\{ f \in \mathbb{A}(\mathbb{D}) : \|f\|_{\Lambda_\omega} = \sup_{\substack{u, v \in \mathbb{D} \\ u \neq v}} \frac{|f(u) - f(v)|}{\omega(|u - v|)} < \infty \right\}.$$

Given a modulus of continuity ω , it will be defined the function ω_* by

$$\omega_*(x) := x \int_x^\infty \frac{\omega(t)}{t^2} dt, x > 0.$$

Note that $\lim_{x \rightarrow 0^+} \omega_*(x) = 0$.

Recall that the following result has been proved in [21].

Theorem 3.1. There exists a constant $c > 0$ such that for every modulus continuity ω , for every $f \in (\Lambda_\omega)_+$ and for arbitrary contractions T and S , the following inequality holds

$$\|f(T) - f(S)\| \leq c \|f\|_{\Lambda_\omega} \omega_*(\|T - S\|).$$

Here we will investigate how the results obtained in the previous section will change for operator-functions.

Theorem 3.2. Let (A_n) be a sequence of bounded linear operators in H such that for any $n \geq 1$ the operator $S_n := \sum_{m=1}^n A_m$ is a contraction operator. If the series $\sum_{n=1}^\infty A_n$ uniformly converges to the $A: H \rightarrow H$, then for any $f \in (\Lambda_\omega)_+$, the following statements are correct:

- (1) If for any $n \geq 1$ $S_n A = A S_n$, then $g_r(f(A)) = \lim_{n \rightarrow \infty} g_r(f(S_n))$,
- (2) $g_w(f(A)) = \lim_{n \rightarrow \infty} g_w(f(S_n))$,
- (3) $g_c(f(A)) = \lim_{n \rightarrow \infty} g_c(f(S_n))$,
- (4) If for any $n \geq 1$ $S_n A = A S_n$ and $f(A) \neq 0$, then $q_r(f(A)) = \lim_{n \rightarrow \infty} q_r(f(S_n))$,
- (5) $q_w(f(A)) = \lim_{n \rightarrow \infty} q_w(f(S_n))$, $f(A) \neq 0$,
- (6) $q_c(f(A)) = \lim_{n \rightarrow \infty} q_c(f(S_n))$, $f(A) \neq 0$.

Proof. Let f is any function of $(\Lambda_\omega)_+$ and contraction operators sequences (S_n) in H which uniformly converges to operator $A: H \rightarrow H$. Then A is a contraction operator. Moreover, since $f \in (\Lambda_\omega)_+$, then by Theorem 3.1, there exists $c > 0$ such that $\|f(A) - f(S_n)\| \leq c \|f\|_{\Lambda_\omega} \omega_*(\|A - S_n\|)$, $n \geq 1$.

Consequently, since $\lim_{n \rightarrow \infty} \omega_*(\|A - S_n\|) = 0$, then the operator sequences $(f(S_n))$ uniformly converges to $f(A)$. Thus, the validity of the claims of this theorem under corresponding conditions it is clear from Theorems 2.3, 2.4 and Theorems 2.6, 2.7.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author sincerely thanks to the editor and the referees for helpful suggestions.

REFERENCES

- [1] Gelfand, M. (1941). Normierte ringe. *Matematicheskii Sbornik*, 9(51), 3-24.
- [2] Halmos, P. R. (1982). *A Hilbert Space Problem Book*. Springer-Verlag, New York.
- [3] Yamazaki, T. (2007). On upper and lower bounds of the numerical radius and equality condition. *Studia Math.*, 178, 83-89.
- [4] Gustafson, K. E., & Rao, D. K. M. (1997). *Numerical Range: The Field of Values of Linear Operators and Matrices*. Springer, New York.

- [5] Bani-Domi, W., & Kittaneh, F. (2021). Refined and generalized numerical radius inequalities for 2×2 operator matrices. *Linear Algebra Appl.*, 624, 364-386.
- [6] Bhunia, P., & Paul, K. (2021). New upper bounds for the numerical radius of Hilbert space operators. *Bull. Sci. Math.*, 167, 1-11.
- [7] Bhunia, P., Paul K., & Nayak, R. K. (2021). Sharp inequalities for the numerical radius of Hilbert space operators and operator matrices. *Math. Inequal. Appl.*, 24, 167-183.
- [8] Kittaneh, F. (2003). A numerical radius inequality and an estimate for the numerical radius of the Frobenius companion matrix. *Studia Math.*, 158, 11-17.
- [9] Kittaneh, F. (2005). Numerical radius inequalities for Hilbert space operators. *Studia Math.*, 168, 73-80.
- [10] Du, K. (2010). The ratios between the spectral norm, the numerical radius and the spectral radius. *Int. J. Comput. Math. Sci.*, 4(8), 388-391.
- [11] Al-Hawari, M. (2013). The ratios between the numerical radius and spectral radius of a matrix and the square root of the spectral norm of the square of this matrix. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 82(1), 125-131.
- [12] Demuth, M. (2015). Mathematical aspect of physics with non-selfadjoint operators, list of open problem. *American Institute of Mathematics Workshop*. 8-12 June, Germany.
- [13] Ismailov, Z. I., & Ipek Al, P. (2021). Gaps between operator norm and spectral and numerical radii of the Tensor product of operators. *Turkish Journal of Analysis and Number Theory*, 9(2), 22-24.
- [14] Ismailov, Z. I., & Ipek Al, P. (2022). Some spectral characteristic numbers direct sum of operators. *Turkish Journal of Analysis and Number Theory*, 10(1), 21-26.
- [15] Ismailov, Z. I., & Otkun Çevik, E. (2022). On the one spectral relation for analytic function of operator. *Journal of Nonlinear Science and Applications*, 15, 301-307.
- [16] Ismailov, Z. I., & Mert, R. Ö. (2022). Gaps between some spectral characteristics of direct sum of Hilbert space operators. *Operators and Matrices*, 16(1), 337-347.
- [17] Otkun Çevik, E., & Ismailov, Z. I. (2021). Spectral radius and operator norm of $n \times n$ triangular block operator matrices. *Journal of Analysis and Number Theory*, 9(1), 7-12.
- [18] Otkun Çevik, E., & Ismailov, Z. I. (2021). Spectral radius and operator norm of infinite upper triangular double band block operator matrices. *Journal of Analysis and Number Theory*, 9(2), 19-22.
- [19] Bachman, G., & Narici, L. (1966). *Functional Analysis*. Academic Press, New York.
- [20] Gürdal, M., Garayev, M. T., & Saltan S. (2015). Some concrete operators and their properties. *Turkish Journal of Mathematics*, 39, 970-989.
- [21] Aleksandrov, A. B., & Peller, V. V. (2010). Operator Hölder–Zygmund functions. *Advances in Mathematics*, 224, 910-966.



Derleme Makale- Review Article

Tekstil Endüstrisinde Kullanılan İnkjet Baskı Mürekkepleri

Inkjet Printing Inks Used in Textile Industry

Gökhan Erkan^{1*}, Dilara Sevindik²

Geliş / Received: 20/07/2022

Revize / Revised: 31/03/2023

Kabul / Accepted: 03/04/2023

ÖZ

Geleneksel baskının uzun üretim prosesleri, yüksek enerji ve su kullanımı, geniş depolama alanı gerektirmesi, çevre kirliliği gibi olumsuz etkileri sebebiyle son yıllarda dijital baskı ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte dijital baskı proseslerinde geliştirilmesi gereken teknik kısıtlamalar da bulunmaktadır. Kumaş türü, kullanılan mürekkebin formülasyonu, ön işlemler ve ard işlemler gibi faktörler baskının son halinde renk farklılıklarına sebep olarak sorun teşkil edebilmektedir. Özellikle baskı kalitesi ve püskürtme özelliklerini doğrudan etkilemesi nedeni ile dijital baskı mürekkepleri dijital baskının en önemli bileşenlerinden biridir. Mürekkeplerin sahip olması gereken bazı özellikler bulunmaktadır ve bu özellikler tıkanmayı önleyebilmek için baskı kafasının çalışma prensibine uygun olmalıdır. Baskı mürekkeplerinde bulunması gereken temel özellikler; saflık, parçacık boyutu, viskozite, yüzey gerilimi, stabilite, iletkenlik, pH, renk haslıkları olarak kısaca özetlenebilir. Bu çalışmada, baskı mürekkeplerinin genel özellikleri, formülasyonları, çeşitli ön işlemler ve kullanılan renklendiricilere göre karşılaşılan teknik kısıtlamalar anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler- *Dijital Baskı Mürekkepleri, Mürekkep Formülasyonu, Ön İşlem, Viskozite*

ABSTRACT

Digital printing has become to the prominent in recent years due to the negative effects of traditional printing, such as long production processes, usage of high energy and water, large storage space, and environmental pollution. However, there are also technical limitations that need to be developed in digital printing processes. Changes such as the type of fabric, the formulation of the ink used, pre-treatments and post-treatments can cause color differences in the final print and other problems. Digital printing inks are one of the most important components of digital printing, especially since they directly affect the printing quality and jetting properties. There are some features that inks must have, and these features should be in accordance with the working principle of the printhead in order to prevent clogging. The basic properties that should be found in ink jet printing inks are: purity, particle size, viscosity, surface tension, stability, conductivity, pH, color fastness. In this study, the general properties of printing inks, their formulations, various pre-treatments, and technical limitations according to the colorants used are explained.

Keywords- *Digital Printing Inks, Ink Formulation, Pre-Treatment, Viscosity*

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: gokhan.erkhan@deu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2239-9556>)

Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Tınaztepe yerleşkesi Buca, İzmir, Türkiye

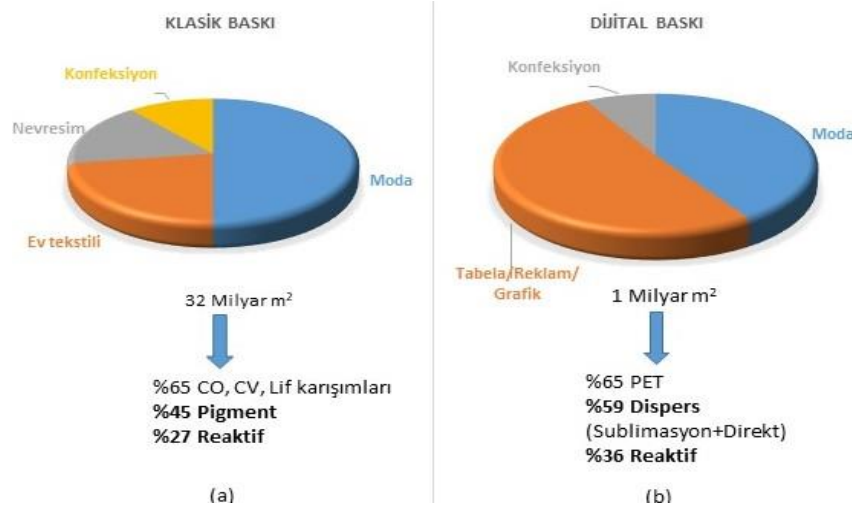
²İletişim: dilarademirtas26@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-8708-1939>)

Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Tınaztepe yerleşkesi Buca, İzmir, Türkiye

I.GİRİŞ

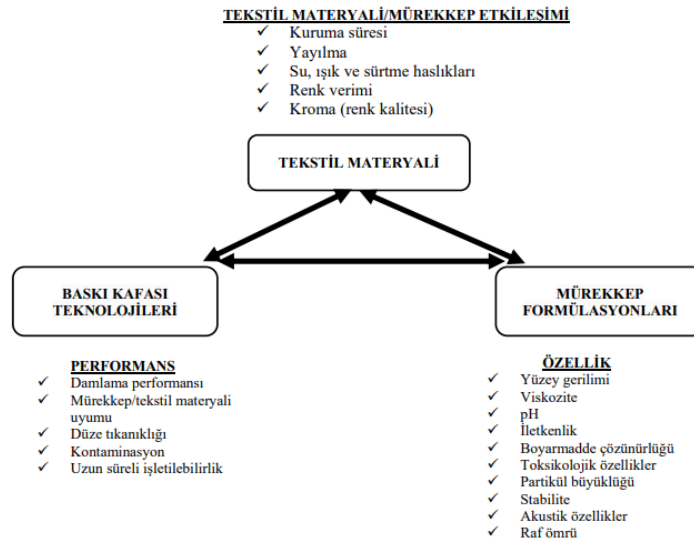
Geleneksel tekstil baskıcılığında seri üretim için rotasyon baskı kullanılmaktadır. Ancak geleneksel baskının uzun üretim süreci, işçilik maliyetinin yüksek olması, geniş depolama alanı gerektirmesi ve çevre kirliliği gibi bazı negatif yönleri bulunmaktadır. Tüm bu nedenler, son yıllarda dijital baskının popülaritesinin artmasını sağlamıştır [1].

İnk jet baskı, pazar payı göz önüne alındığında baskı teknolojileri içinde en hızlı büyüyen teknoloji olduğu düşünülmektedir. Geleneksel baskıda en çok pamuk, viskon ve karışımları ile pigment ve reaktif boyarmaddeler kullanılarak çalışılmaktadır. Dijital baskı ise en çok PET kumaşlara uygulanmıştır ve baskı işlemlerinde dispers ve reaktif boyarmaddeler yaygın olarak kullanılmıştır. Şekil 1'de geleneksel baskı ve ink jet baskının karşılaştırması verilmiştir [2].



Şekil 1. Geleneksel (a) ve ink jet (b) baskının karşılaştırılması [2]

İnk jet baskı teknolojisinin ana bileşenleri; baskı kafası, yazılım ve mürekkep olan temassız bir baskı tekniğidir [2,3]. İnk jet baskıda pigment ve boyarmaddeler klasik baskıda olduğu gibi yüksek viskoziteli patlar ile kullanılmamaktadırlar. Bu durumun sebepleri; baskı kafalarının fiziksel yapılarının bu patlara uygun olmaması ve ink jet baskıda mürekkep püskürtüldüğü için düşük viskoziteli sıvıların kullanılmasıdır [4, 5]. Şekil 2'de mürekkep formülasyonu, baskı kafası teknolojileri ve tekstil materyali arasındaki uyumun inkjet baskı performansına etkileri görülmektedir [2, 6].



Şekil 2. Mürekkep formülasyonu, baskı kafası teknolojileri ve tekstil materyalinin inkjet baskıya etkileri [2, 6]

İnkjet baskıda kullanılan mürekkeplerin ana üreticileri Acroma, Dupont, Kornit, Mimaki, Fuji Imaging Colorants, EFI Reggiani, MS Italy ve Sensient'tır, ancak bunlar dışında da birçok küçük çaplı ink-jet baskı mürekkebi üreticisi vardır. Bazı üreticiler son zamanlarda, UV gel 460 (Canon), Artistri (Dupont), Artistri® Xite

P2700 (DuPont) ve Ultrachrome Dg (Epson) mürekkepleri gibi baskı mürekkeplerini piyasaya sunmuşlardır [7, 8]. SETAŞ kimya gibi yerli üreticiler de bulunmaktadır.

Sadece Amerika Birleşik Devletleri'nde 20.000 bin adet inkjet baskı makinesi kullanılmaktadır ve bu makinelerin mürekkep tüketimi yılda 200.000 litreye ulaşmıştır [9, 10].

II. INKJET BASKI MÜREKKEPLERİ

Dijital baskıda kullanılan mürekkepler damlacık oluşumuna uygun olmalı, yüksek renk verimi elde edilebilmeli ve kontürleri net desenler oluşturabilmelidir. Mürekkeplerin, baskı makinesinin gereksinimlerini karşılayabilmesi için doğru reolojide (yüzey gerilimi, viskozite, yoğunluk) olmaları çok önemlidir. Reolojik özellikler desene göre püskürtme yapılan kesikli inkjet baskıda (DOD) ve kesiksiz inkjet (CIJ) baskıda farklı olabilmektedir. Örneğin CIJ baskı sistemlerinde mürekkeplerin yüksek iletkenliğe sahip olması gerekirken DOD sistemlerde düşük iletkenlikte mürekkepler kullanılmaktadır. Inkjet baskı mürekkeplerinde bulunması gereken özellikler aşağıda kısaca özetlenmiştir [3, 4, 5, 11, 12]:

- Yüzey gerilimi ve viskozitenin damla özelliklerini sağlayacak özellikte olması,
- Kimyasal olarak stabil olması ve kullanılan baskı kafası ile uyumlu olması,
- Reolojisinin kullanılacağı baskı kafasına uygun olması,
- Mürekkep içindeki boyarmaddenin basılacağı tekstil materyaline karşı afinitesinin olması,
- Çalışma sırasında mürekkebin düzgün damla büyüklüğünde, düzgün akış ile verilmesi,
- Hızlı ıslatma ve kuruma özelliği,
- Baskı kafalarının tıkanmasına neden olacak hava partikülleri içermemesi,
- Sıcaklığın mürekkep üzerinde etkisinin düşük olması,
- pH 7-10 olması,
- Uzun raf ömrü beklenmektedir.

İnk jet baskı mürekkepleri, renklendirici (bm/pigment), zemin ve yardımcı kimyasal maddelerden oluşmaktadır. Zemin görevinde su, çözücü, yağ, faz değiştirici sıvı veya UV kürlendirilmiş sıvı kullanılabilir. Ancak, tekstil baskıcılığında kullanılan mürekkeplerin neredeyse tamamı su bazlıdır ve bunun sebebi kullanılan baskı kafalarına uyumun sağlanabilmesidir. Tablo 1'de su bazlı bir mürekkebin genel formülasyonu görülmektedir [13, 14, 15].

Tablo 1. Su bazlı dijital baskı mürekkeplerinin formülasyonu [13, 14, 15]

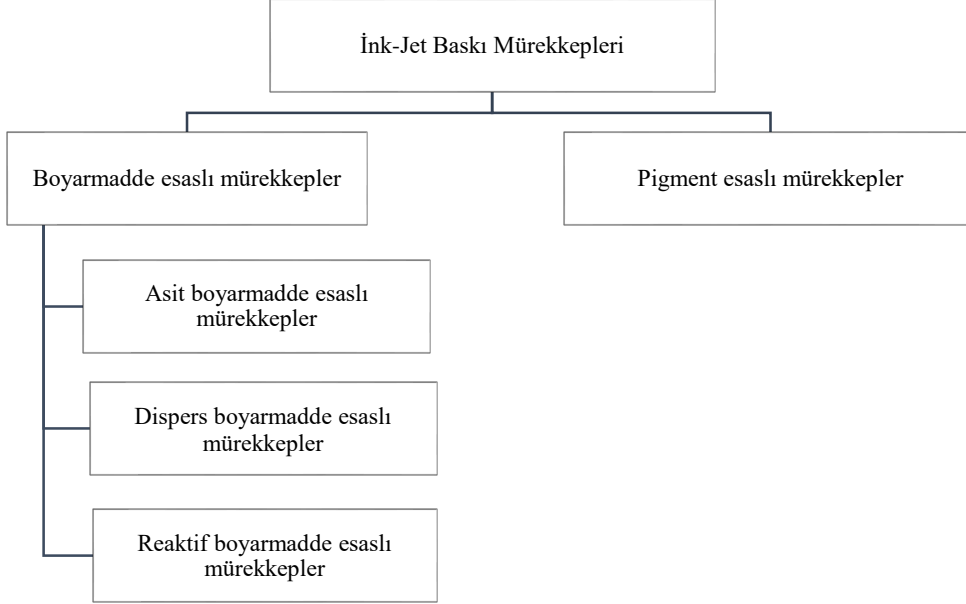
Bileşen	İşlevi	Konsantrasyon (%)
Deiyonize su	Sulu taşıyıcı	60-90
Suda çözünen çözücü	Viskozitenin ayarlanabilmesi, nemlendirici	5-30
Renklendirici (bm/pigment)	Kromofor	1-10
Yüzeyaktif madde	Islatıcı	0,1-10
Antibakteriyel madde	Bakteri/mantar oluşumunu engelleme	0,05-1
Tampon madde	Mürekkebin ph ayarı	0,1-0,5
Yardımcı kimyasal maddeler	Çapraz bağlayıcı, köpük önleyici	>1

Su bazlı baskı mürekkeplerinin kullanımı, uçucu organik bileşiklerin (VOC) emisyonunu azaltması ile daha az çevre kirliliği oluşturması, kullanılan çözücü miktarının daha az olması, baskı tertibatından kolaylıkla uzaklaştırılabilmesi ve ucuz olması sebebi ile önerilmektedir. Bu mürekkepler daha az çözücü içerdiğinden yangın riski azdır ve baskı tertibatından yıkanarak temizlenmesi oldukça kolaydır. Su bazlı baskı mürekkepleri termal ve piezoelektrik inkjet baskılar için geliştirilmiştir. Ayrıca daha az baloncuk oluşturmaları ve reolojileri sayesinde baskı kafalarını daha az tıkamaları gibi üstün özelliklere sahiptirler [15].

İnk jet baskıda kullanılan mürekkep ve tekstil materyali arasındaki etkileşim debaskı kalitesi açısından göz önünde bulundurulması gereken önemli faktörlerdendir. Mürekkep ve tekstil materyali arasında, mürekkep ve materyalin kimyasal yapısına bağlı olarak elektrostatik ve iyonik bağlar, kovalent bağ, hidrojen bağları, Van der Waals etkileşimleri ve dipol-dipol bağları gibi farklı etkileşimler oluşabilmektedir. Bu sebeplerle dijital baskıda kaliteyi arttırabilmek için tekstil materyali ve mürekkep uyumuna çok dikkat edilmelidir [11]. Asit boyarmaddeler

ile naylon arasında iyonik bağ, reaktif boyarmaddelerle pamuk arasında kovalent bağ ve dispers boyarmaddeler ile polyester arasında van der waals etkileşimi meydana geldiği bilinmektedir [16].

İnk-jet mürekkepler kullanılan renklendiriciye göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar; boyarmadde esaslı olan mürekkepler ve pigment esaslı olan mürekkeplerdir [3]. İnk-jet baskı mürekkeplerinin kullanılan renklendiriciye göre sınıflandırılması Şekil 3'te görülmektedir [1].



Şekil 3. İnk-jet baskı mürekkepleri [1]

A. Boyarmadde İçeren Baskı Mürekkepleri

Renklendirici, baskı kafası teknolojisi, baskı makinesinin çalışma prensibi (DOD, CIJ) gibi çeşitli faktörler su bazlı baskı mürekkeplerin formülasyonundaki farklılıkların başlıca nedenleridir. Renklendirici bir boyarmadde molekülü (veya çeşitli moleküllerin kombinasyonu) ise, çözünürlük limitinin çok altında bir konsantrasyonda mevcut olmalıdır, aksi takdirde depolama sırasındaki küçük değişiklikler çökelmeye neden olabilir. Boyarmaddelerin optik özellikleri genellikle pH'daki hafif değişikliklerden ve su bazlı mürekkeplerde elektrolitlerden, polariteden ve yüzey aktif maddelerden etkilenir. Mürekkeplerde yüksek stabilite için renklendirici oranı toplam mürekkep ağırlığının %4'ünden az olmalıdır [15].

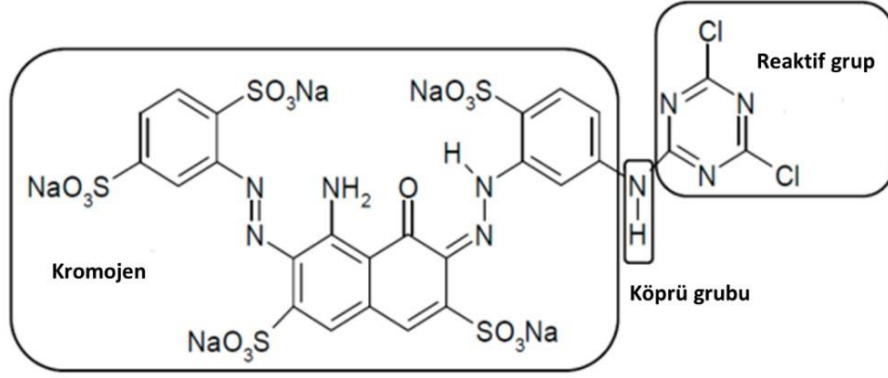
Jet baskı işlemlerinde kullanılan genel mürekkep formülasyonu [5]:

- Boyarmadde
- Uygun çözücü
- Kıvamlaştırıcı
- Antibakteriyel madde
- pH tamponu
- Antioksidan madde
- Yüzeyaktif madde

Boyarmadde içeren baskı mürekkepleri; reaktif, asit ve dispers baskı mürekkepleri olarak üçe ayrılmaktadır [6].

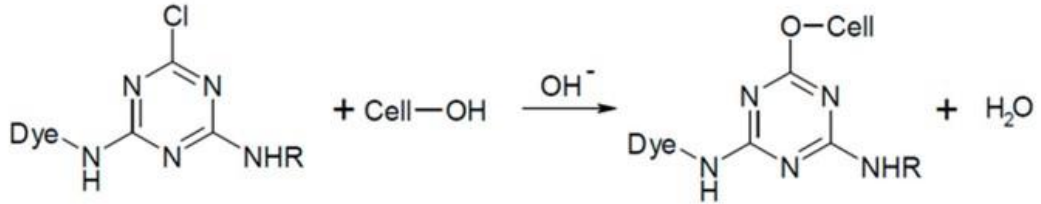
1) Reaktif boyarmadde esaslı mürekkepler:

Reaktif boyarmaddeler, 1956'da ICI firması tarafından ilk defa piyasaya sunulmuştur. Parlak renk tonları yüksek yıkama ve ışık haslıkları sebebi ile günümüzde selülozik liflerin baskısında en çok kullanılan boyarmadde sınıfıdır. Bu boyarmaddeler selülozik liflerin yanısıra yün, poliamid ve ipek kumaşların baskısında da kullanılabilir [6, 16]. Reaktif boyarmaddeler kromojen, köprü grubu ve reaktif gruptan oluşmaktadır. Bu boyarmaddeler selüloz liflerinin hidroksil grupları ile kovalent bağ oluştururlar, bu özellikleri yaş haslıklarının yüksek olmasına neden olmaktadır [17]. Reaktif boyarmaddelerin yapısına örnek olarak C.I. Reactive blue 109 Şekil 4'te gösterilmektedir [17, 18].



Şekil 4. C. I. Reactive Blue 109 moleküler formülü [17, 18]

Reaktif boyarmaddeler, alkali koşullar altında liflerle kararlı kovalent bağ oluşturular. Reaktif grup ile bağ oluşturma fonksiyonel grup; selüloz lifleri için hidroksil; yün ve ipek için amino, karboksil, hidroksil ve tiyoalkol; poliamidler için ise amino ve karboksil gruplarıdır [6, 14, 16]. Reaktif boyarmaddenin selüloz ile reaksiyonu Şekil 5'te verilmiştir [17, 19].



Şekil 5. Reaktif boyarmaddelerin selüloz ile reaksiyonu [17, 19]

Reaktif boyarmaddelerin farklı sınıfları vardır ve bu sınıfların hepsi baskıda kullanılamamaktadır. Bu durum boyarmaddelerin reaktivite ve substantivite özelliklerinden kaynaklanmaktadır [16].

Reaktivite: Reaktif boyarmaddelerin reaktif gruplarına göre sınıflandırılması Tablo 2'de verilmiştir [16, 20]. Diklorotriazin reaktivitesi en yüksek reaktif gruptur ve depolama kararlılıkları çok düşük olduğu için mürekkeplerde ve baskı patlarında kullanılamamaktadırlar. Monoklorotriazin boyarmaddeler ise reaktivliği en düşük boyarmaddelerdir ve ink-jet baskı mürekkeplerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar [16].

Substantivite: Dijital baskı için kullanılan boyarmaddelerin düşük substantiviteye sahip olması gerekmektedir. Boyarmaddelerin düşük substantiviteye sahip olması, boyarmadde moleküllerinin üzerindeki hacimli yan grupların artırılarak boyarmadde moleküllerinin lif üzerindeki boyama bölgelerine yaklaşmasının sterik olarak engellenmesi ile sağlanabilmektedir [2, 16].

Tablo 2. Reaktif boyarmaddelerdeki önemli reaktif gruplar ve reaktivlikleri [20]

Reaktif grup	Reaktivlik
Diklorotriazin	Yüksek
Diklorokinoksalin	Düşük
Monoflorotriazin	Orta
Vinil sülfon	Orta
Monoklorotriazin	Düşük
Diklorokinoksalin	Düşük
Triklorprimidin	Düşük

Konvansiyonel baskıda kullanılan ticari sıvı reaktif boyarmaddeler yüksek oranda tuz içerdiğinden baskı kafalarında korozyona neden olmaktadır. Bu sebeple bu boyarmaddelerin ink jet baskıda kullanımı uygun

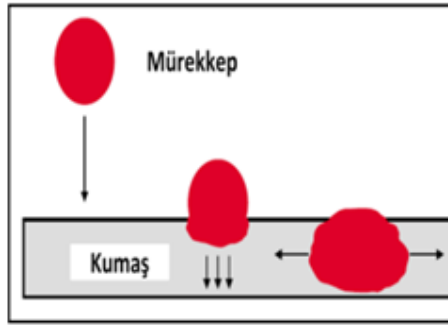
olmamaktadır. Reaktif boyarmadde esaslı mürekkeplerde, tuz miktarı oldukça düşürülmesine rağmen problem devam etmektedir. Dietilen glikol, propilen glikol ve dietilen glikol monobutil eter gibi kimyasal maddelerin mürekkeplerde kullanımı ile baskı kafalarında kuruma probleminin önüne geçilebilmektedir. Bu yapılan iyileştirme çalışmaları, günümüzdeki dijital baskı maliyetlerinin ve dijital baskı mürekkeplerinin fiyatlarının neden pahalı olduğunu açıklamaktadır [6].

Dijital baskı mürekkepleri düşük viskoziteye sahip olup, baskı kafalarından kolayca akıp geçebilecek şekilde tasarlanmıştır. Şablon baskı patları 5000 mPas civarı viskoziteye sahipken, ink jet baskı patları 3-15 mPas viskozite değerleri arasındadır. Düşük viskozite, mürekkep tekstil materyaline ulaştığında problem oluşturmaktadır. Bu nedenle, tekstil materyallerine sıvı adsorpsiyonunu ve yüzey alanını artırıcı partiküle sahip ürünler içeren ön işlem patı emdirme yöntemi ile aktarılır ve kurutularak baskıya hazırlanmaktadır. Sonrasında sadece boyarmaddeyi içeren mürekkep ile baskı yapılır. Uygulanan ön işlem patı emiciliği artırarak dağılmayı önlemektedir. Aynı zamanda mürekkebin reolojisi ve stabilitesi de bozulmamaktadır [2, 5, 14, 21]. Kullanılan tekstil materyali ve mürekkebe göre ön işlem gerekliliği Tablo 3’de ve ön işlem uygulanmayan kumaşlarda yıldız damla oluşumu Şekil 6’da görülmektedir. [2, 5, 23].

Tablo 3. Liflere ve mürekkeplere göre ön işlem gerekliliği [2, 5]

İnk jet mürekkep	Uygulanan kumaşlar	Ön işlemler
Reaktif	Selüloz esaslı lifler ve karışımları	Yapılmalı
Asit	Doğal lifler (yün, İpek vb.) ve poliamid gibi sentetik lifler	Yapılmalı
Dispers	PET, asetat lifleri	Gerekli görüldüğünde
Pigment	Tüm tekstil liflerine uygulanabilir	Seyrek

Tekstil materyaline, inkjet baskısı öncesi kumaşa uygun ön işlem yapılmasının gerekli olduğu bilinmektedir. Ön işlemin amacı, nozüllerin tıkanması nedeni ile mürekkep formülasyonuna eklenemeyen, istenen baskı kalitesini elde etmek için önemli olan çeşitli yardımcı maddeleri kumaşa uygulayarak baskının dağılmasını önlemektir[8, 22].



Şekil 6. Ön işlemsiz kumaşta yıldız damla oluşumu [23]

Kıvamlaştırıcı, alkali ve üre gibi yardımcı kimyasal maddelerin mürekkep içine eklenmesi yerine ön işlem olarak uygulanmasının nedenleri aşağıda özetlenmiştir [5, 16]:

- Tüm bileşenleri içeren mürekkepler daha az stabildir ve depolama dayanımları düşük olmaktadır. Örneğin reaktif boyarmadde kullanılan mürekkep içinde alkali bulunuyorsa hidrolize uğrama olasılığı daha yüksektir bu durum depolama dayanımının düşük olmasına neden olmaktadır.
- Mürekkep içerisindeki yardımcı kimyasallar baskı kafalarının uç kısımlarında korozyona neden olmaktadır.
- Mürekkep içerisindeki kıvamlaştırıcılar istenilen reolojik özellikleri sağlayamamaktadır.
- Sıvı haldeki mürekkeplerin yüksek miktarlarda tuz içermesi boyarmaddenin çözünürlüğünü düşürmektedir.

Ön işlem çözeltilisinde alkali, üre, anti redüksiyon maddesi, kıvamlaştırıcı gibi yardımcı kimyasal maddeler bulunmaktadır [24]. Monoklorotriazin reaktif boyarmaddeler için kullanılan ön işlem patı Tablo 4’te verilmiştir[16].

Tablo 4. Pamuklu kumaşlara uygulanan ön işlem patı [16]

Konsantrasyon	Kimyasal madde
100 g/L	Sodyum alginat (kıvamlaştırıcı)
100 g/L	Üre
20-30 g/L	Sodyum karbonat

Kıvamlaştırıcılar: İstenilen reolojik özelliklerin sağlanması için kullanılan, yüksek moleküler ağırlıklı polimerlerdir. Kıvamlaştırıcının baskı patında kullanılmasının nedenleri aşağıda özetlenmiştir [2, 5, 25]:

- Kontür netliği sağlaması,
- Nem tutucu özelliği ile fiksaj sırasında kimyasalların çözünerek liflerin içine girmesini sağlamak,
- Mürekkebin reolojisini düzenlenmesidir.
- İyi bir kıvamlaştırıcının sahip olması gereken özellikler aşağıdaki şekildedir [25]:
- Baskı patına istenilen miktarda elastikiyet, yapışkanlık ve viskozite kazandırılabilmesi,
- Kumaşa göre boyarmaddeye afinitesinin düşük olması ile kumaşa daha fazla boyarmadde geçebilmesi,
- Absorblama özelliği ile boyarmaddenin kumaş yüzeyinde tutunmasını sağlaması ve fiksaj sonrasında boyarmaddenin life difüzyonunu sağlayabilmesi,
- Şişme özelliği yüksek kıvamlaştırıcı kullanımı ile mürekkebin birarada tutulabilmesi,
- Depolama sırasında bakteri oluşturmaması,
- Kurutma sonrası patın kırılğan bir tabaka oluşturmamış olması ve çökmemesi,
- Kumaşın baskı işlemi sonrası tutumunun iyi olması için fiksaj sonrası, kıvamlaştırıcının kolayca yıkanarak uzaklaştırılabilmesi,
- Kıvamlaştırıcının pat içindeki kimyasallarla uyumlu olması ve diğer kimyasallar ile reaksiyona girmemesi,
- Ucuz olmasıdır.

Kıvamlaştırıcı olarak alginat, karboksi metil selüloz, karboksi metil nişasta, ksantan gum kullanılabilir. Kıvamlaştırıcı uygulanması ile baskıda kontür netliği gelişmektedir. Son yıllarda özellikle dispers ve pigment bazlı mürekkeplerdeki gelişmeler ile ön işlem uygulanmadan da dijital baskı yapılmaya başlanmıştır[2, 5].

Alkali:Reaktif boyarmaddelerde, alkali koşullarda selüloz lifi ve boyarmadde arasında kovalent bağ oluştuğu için kullanılmaktadır. Reaktif boyarmaddelerin yapılarındaki reaktif gruplara göre pH'ın ayarlanabilmesi için farklı kimyasal yapılarda ve miktarlarda alkali kimyasallar kullanılmaktadır. Boyarmaddenin hidroliz olma riskini azalttığı ve baskı patında stabilite sağladığı için konvansiyonel baskıda ve dijital baskının ön işlem patında alkali olarak sodyum bikarbonatın kullanımı önerilmektedir.Fakat işletmelerde sodyum karbonat kullanımı yüksek renk verimliliği ve uygun fiyatlı olması nedeni ile daha çok tercih edilmektedir[2, 5, 6, 21].

Üre:Nem çeken yapısıyla farklı fikse koşullarını optimize ederek boyarmaddenin çözünürlüğünü arttırmakta ve agregatları parçalamaktadır. Ayrıca lifi şişirerek boyarmaddenin lifdifüzyonunuarttırmaktadır. Üre miktarının olması gerekenden çok yüksek olması nem alımını artırarak reaktif boyarmaddenin hidrolize olmasına ve renk verimliliğinin azalmasına neden olabilmektedir [25, 26].

Ürenin atık sularda yüksek seviyede azot açığa çıkarması gibi çevreye zararlı etkileri olmasına rağmen yine de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, baskı patı içinde ürenin kullanılmaması ya da azaltılması yönünde çevresel yaptırımlar söz konusudur ve bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [6, 27].

Anti redüksiyon maddesi: Reaktif boyarmaddelerin indirgen etkilere yatkınlığından dolayı kullanılmaktadır. Ön işlem baskı patında renk verimliliğinin azalmasını önlemek ve reaktif boyarmaddeyi indirgenme tehlikesinden korumak için yükseltgen madde meta nitrobenzen sülfonat kullanılmaktadır[2, 6].

Literatürde reaktif boyarmadde esaslı dijital ink jet baskı mürekkepleri ile ilgili yapılan bazı çalışmalar şunlardır:

Hou vd. (2019), istenilen fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip mürekkeplerin elde edilmesi, kumaşa beklenen görüntü kalitesi ve renk performansı kazandırılması için farklı kaynama noktalarına sahip, suda çözünür alkoller reaktif boyarmadde esaslı mürekkebe eklemiştir. Bu işlem için seçilen alkoller; dietilen glikol, trietilen glikol, 1,2-propandiol, 1,3-bütandiol, gliserol, heksilen glikol ve izopropil alkoldür. Çalışmada, farklı kaynama noktalarına sahip alkollerin mürekkebin reolojik özellikleri, kuruma davranışı ve depolama stabilitesi üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Ayrıca, renk değerleri, fikse oranı, mürekkep penetrasyonu ve kontür

netliği dahil olmak üzere baskı görüntüsünün performansı değerlendirilmiştir. Sonuçlar, gliserol, dietilen glikol ve trietilen glikol içeren mürekkeplerin daha düşük buharlaşma oranlarına sahip olduğunu ancak bu mürekkeplerin depolama stabilitesi ve boya fiksasyon değerinin düşeceğini göstermiştir. Orta kaynama noktasına sahip 1,2-propandiol içeren mürekkep, reaktif mürekkebin çeşitli özelliklerini etkili bir şekilde karşılayabilir ve pamuklu kumaşlar üzerindeki fiksaj oranını ve baskı kalitesini iyileştirebilir. Sonuçlar, mürekkebin viskozitesinin ve mürekkebin kuruma kabiliyetinin, formülasyona göre alkol tipi değiştirilerek değişebileceğini göstermiştir [28].

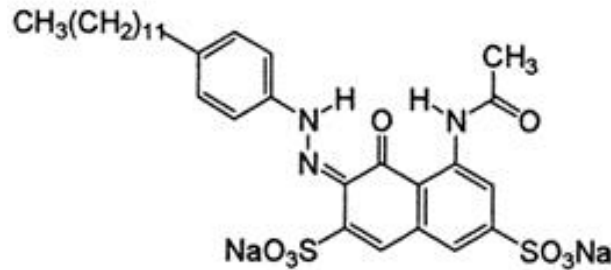
Ma vd. (2017), reaktif mürekkepleri kullanarak inkjet baskıların renk verimini kolay bir şekilde artırmak için, pamuklu kumaşların sodyum alginat, glisidil trimetil amonyum klorür (GTA), sodyum hidroksit ve üre içeren ön işlem formülasyonu ile katyonizasyonunu yapmışlardır. GTA ve alkali konsantrasyonları, fikse sıcaklığı ve süresi dahil olmak üzere ön işlem koşulları, magenta mürekkebi için katyonik pamuktaki renk veriminin sonucuna göre optimize edilmiştir. Modifikasyon yapılmış ve yapılmamış pamuğun SEM, yırtılma mukavemeti ve termogravimetrik analizi sonuçları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Optimal ön işlem koşulları kullanılarak, magenta, camgöbeği, sarı ve siyah reaktif mürekkepler için katyonik pamukta renk verimi, katyonize edilmemişle karşılaştırıldığında sırasıyla %128,7, % 142,5, % 71 ve % 38,1 artmıştır. Boyaların tüm renk haslıkları tatmin edicidir ve katyonik pamuk üzerindeki magenta, sarı ve camgöbeği mürekkeplerin ışık haslığı katyonik pamukta daha yüksektir. Bu ön işlem yöntemiyle yapılan dijital ink jet baskılar, daha yüksek renk verimi, kontür netliği ve daha az atık su oluşumu sağlamıştır [29].

Gorgani vd. (2015), dijital ink jet baskıda antimikrobiyel ve verimli polimerik malzemeler elde etmek için pamuklu kumaşlar farklı poliamidoamin (PAMAM) dendrimer konsantrasyonları ile modifiye edilmiştir. PAMAM dendrimer, selüloz anyonunun siyanürik klorür ile reaksiyonu ile pamuklu kumaş üzerine aşılacaktır. Modifiye edilmiş pamuklu kumaşlara yapılan dijital ink jet baskı, farklı pH'larda değerlendirilmiştir. Optimum pH'daki sonuçlar, modifiye pamuklu kumaşa PAMAM dendrimer konsantrasyonunun artırılmasıyla reaktif ink jet baskılı kumaşın renk değerlerinin yanında antimikrobiyel özelliklerinin de geliştiğini göstermiştir. Baskılar, mükemmel yıkama ve kuru/ıslak sürtme haslığı sağlamıştır. PAMAM dendrimer ile modifikasyon işleminin, boyarmadde fiksajını artırarak çevre dostu bir işlem olmayan ön işleme duyulan ihtiyacı kaldırabileceği görülmüştür [30].

Choi vd. (2005), pamuklu kumaşın baskı ön işlem patında kıvamlaştırıcı olarak sodyum alginat yerine kitosan kullanılmasını önermiştir. Kitosan ve asetik asit karışımından uygun viskozitede hazırlanan ön terbiye baskı patları pamuklu kumaşa uygulandığında yüksek haslık değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, renk verimi, ön işlem patında sodyum alginat kullanılması kadar iyi değildir [26].

2) Asit boyarmaddeler esaslı baskı mürekkepleri

Asit boyarmaddeler oldukça küçük moleküllerden oluşurlar ve düşük moleküler ağırlığa sahiptirler. Anyonik yapıda boyarmaddelerdir ve suda yüksek oranda çözünürler. Poliamid ve protein esaslı (yün veya ipek) liflerinin boyanması için kullanılmaktadırlar [5, 6, 21, 31]. Asit boyarmaddeler kullanılarak oldukça canlı ve parlak renkler elde edilebilmektedir. Ayrıca ışık haslıkları genel olarak yüksektir. Asidik ortamda negative yüklüdürler. Poliamid liflerinin amino grupları ve protein esaslı lifler ise pozitif yüklüdürler. Bu sayede boyarmadde ve lif arasında iyonik bağ oluşmaktadır. İyonik bağ, boyama prosesinde yüksek miktarda boyarmaddenin fikse olmasına ve boya banyosunda fikse olmayan az miktarda boyarmadde kalmasına neden olmaktadır [14, 16]. Asit boyarmaddelere örnek Şekil 7'de verilmiştir [32].

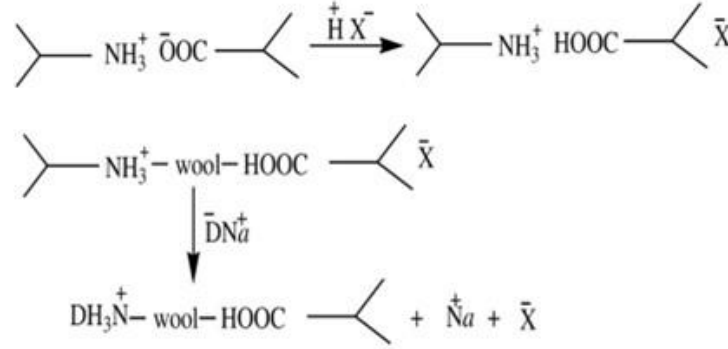


Şekil 7. C.I. Acid Red 138 [32]

Mürekkebin kumaş üzerinden emilmesini önlemek için genellikle ön işlem gerektirirler ve fikse olamamış boyarmaddenin uzaklaştırılması için ard işlem yapılabilir. Mürekkeplerde yaygın olarak gliserin, dietilen glikol ve trietilenglikol gibi higroskopik maddeler ve bir yüzey aktif madde kullanılmaktadır [21].

Ayrıca asit boyarmaddeler, pamuğun dijital ve konvansiyonel baskı işlemlerinin ikisinde de kullanılabilirler. Bunun için pamuğa kationizasyon yapılması veya çapraz bağlayıcı maddelerin kullanılması gerekmektedir [33, 34].

Asit boyarmaddeleri içeren mürekkepler ile dijital baskı yapılırken; ön işlem, baskı, fiksaj ve yıkama adımları uygulanmaktadır [11]. Yünün asit boyarmaddeler ile boyanma mekanizması Şekil 8'de verilmektedir [35].



Şekil 8. Yünün asit boyarmaddeler ile boyanma mekanizması [35]

Literatürde asit boyarmadde esaslı dijital ink jet baskı mürekkepleri ile ilgili yapılan çalışmalar:

Yang ve Li (2003), pamuklu kumaşın dijital baskı işleminde kuaterner amonyum (kolin klorür (cc)) ve iki çapraz bağlama maddesi (dimetilol dihidroksi etilen üre (DMDHEU) ve bütan tetra karboksilik asit (BTCA)) kullanarak boyarmadde alımını incelemiştir. Kolin klorürün seçilme nedeni toksik olmaması ve çapraz bağlama maddesi ile reaksiyona girmeye müsait bir serbest hidroksil grubuna sahip olmasıdır. Dimetilol dihidroksi etilen ürenin seçilme nedeni düşük maliyetiyken, bütan tetra karboksilik asitin seçilme nedeni formaldehit içermemesidir. Elde edilen sonuçlara göre çapraz bağlayıcı kullanılan mürekkepler pamuklu kumaşlarda kullanılabilir özelliindedir. Çapraz bağlayıcılara kolin klorür eklenmesi, asit boyanın, çapraz bağlayıcı maddenin tek başına kullanılmasından daha fazla geliştirmiştir. Kolin klorür kullanımının dezavantajı, yıkama sırasında baskısız alanlarda boya lekelerinin olmasıdır. Ayrıca bu yöntem pamuk, suni ipek, naylon, ipek, yün ve bunların karışımları için kullanılabilir [33].

Choi vd. (2019), yüksek hızlı dijital ink jet baskı işleminde kullanılmak için su bazlı mürekkepler üretmek üzere beş perilen asit boyası sentezlemiştir. Su bazlı mürekkepler olarak formüle edildiğinde uzun vadeli stabilite sağlamak ve suda çözünürlüklerini arttırmak için sülfonik asit grupları eklenmiştir. Sentezlenen tüm perilen boya, ticari olarak kullanılan azo boyaya kıyasla üstün stabilite ve optik özellikler göstermiştir. Perilen su bazlı mürekkepler, mevcut dijital tekstil baskı mürekkeplerinin temel renk bileşiminden farklı renklerle olağanüstü baskı netliği göstermektedir. Ayrıca, iyi bir püskürtme performansı ve ticari dijital ink jet baskı makinesinde kullanıldıklarında kontrollü desen baskısını sağlamaktadırlar [36].

3) Dispers boyarmadde esaslı dijital baskı mürekkepleri

Tekstil inkjet baskının en önemli özelliklerinden biri, pamuk, ipek, naylon ve polyester gibi tekstil malzemelerinin çoğu için kullanılabilmesidir. Bunlardan polyester lifleri, yüksek kristalin bölge oranına sahip, kompakt ve hidrofobik bir yapıdadır [14, 16]. Bu durum, polyester liflerinde boyarmadde ile etkileşim oluşabilecek bölgelerin sayısının azalmasına neden olmaktadır. Dispers boyarmaddeler bu problemlerin aşılabilmesi için geliştirilmiştir. Dispers boyarmaddeler suda çok az çözünürdür. Bu boyarmaddeler fiziksel olarak küçük ve düzlemsel olduğundan polimer zincirine daha çok yaklaşabilmektedir. Polyester molekülleri ile bağlar oluşturulabilen -NO₂ ve -CN gibi polar gruplara sahiptirler. Boyama işlemleri kristalin bölgelerin şişmesi ve bağlanma için daha fazla yer sunabilmesi yüksek sıcaklık ve basınç ile sağlanabilmektedir. Boyarmadde ve lif arasında oluşan etkileşim Van der Waals kuvvetleridir [14].

Dispers boyarmaddeler polyesterin ink jet baskısında direkt baskı veya transfer baskı olarak uygulanabilmektedir. Dispers boyarmaddelerle transfer baskı iki adımda yapılmaktadır. Ink jet baskı makinesinde transfer kağıdına baskı yapılır sonrasında kalandır kullanılarak 210°C'de 30 saniye transfer işlemi yapılmaktadır. Direkt baskı yönteminde ise; ön işlem, baskı, kurutma, fiksaj ve yıkama adımları izlenmektedir [11].

Polyestere, pigment ve dispers mürekkeplerle dijital ink jet baskı yapılabilir. Inkjet polyester baskı için dispers mürekkepler, transfer ve direkt baskı teknolojileri ile uygulanabilmektedir. Transfer baskıda, hazırlanan desen süblimasyon yapabilen dispers boyarmaddelerle özel bir kağıda basılır. Daha sonra kurutulan desen, bir süblimasyon işlemi veya buharlama ile kağıttan tekstile aktarılır. Direkt baskı teknolojisinde ise

hazırlanan desen, polyester substrat üzerine dijital ink jet baskı yapılabilir [16, 37]. Kumaşa homojen ıslanma ve düzgün bir yüzey için kıvamlaştırıcı ve orta şiddetli bir asit ile ön işlem yapılmaktadır. Dispers boyarmaddelerin kullanıldığı mürekkeplerde parçacık boyutu çok önemlidir ve klasik baskı ile kıyasladığımızda daha küçük moleküllü boyarmaddelerin kullanımı düzgün püskürtme için gerekmektedir [4, 21, 37].

Mürekkep üreticileri polyester üzerine direkt baskıda ve kağıt üzerine baskı sonra ısı kullanılarak tekstil materyaline transfer baskıda kullanılmak üzere iki türde dispers boyarmadde esaslı mürekkep üretmektedir. Transfer baskıda kullanılan mürekkepler düşük molekül ağırlıklı ve uçucu boyarmaddeler içermektedir [6, 21].

Literatürde dispers boyarmadde esaslı dijital ink jet baskı mürekkepleri ile ilgili yapılan çalışmalar şunlardır:

Ibrahim ve El-Salam (2012), polyester kumaşa lipaz enzimi ile ön işlem yaparak dijital baskıda enzimatik ön işlemin etkisini araştırmışlardır. Enzimatik işlem sonrasidispers boyarmaddeler kullanılarak dijital baskı yapılmıştır. Yapılan işlemlerin K/S değerleri, haslıklar (yıkama, sürtme, ter)ve kopma mukavemetleriüzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. %100 Polyester kumaşlara baskı öncesi enzimatik işlem uygulanmasınınK/S değerlerini yaklaşık %10-30 arttırdığı, haslıkların iyileştiği ve kopma mukavemeti üzerinde etkisinin düşük olduğu görülmüştür [38].

Fu vd. (2011), C.I. disperse blue 60 boyarmadde, poli(stiren-maleik asit) ile kapsüllemiş ve sonrasında inkjet baskı mürekkebi hazırlanmıştır. Sonuçlar, kapsüllenmiş dispers boya dispersiyonunun küçük parçacık boyutuna, poliollere ve alkaliye karşı mükemmel stabiliteye sahip olduğunu ve onun reolojik davranışının Newton sıvısına ait olduğunu göstermiştir. Bu dispersiyon kullanılarak hazırlanan mürekkep, oda sıcaklığında mükemmel bir baskı performansı sergilemektedir [39].

B. Pigment Esaslı Baskı Mürekkepleri

Tekstil baskı işlemlerinde 1960'lerden itibaren en çok kullanılan boyarmadde sınıfı olarak bilinmektedirler. Tüm tekstil baskı işlemlerinin %50'sinden fazlasında kullanılan en ucuz renklendiricilerdir. Diğer renklendiriciler kullanıldığında fikse olmayan boyarmaddelerin uzaklaştırılması için yapılan yıkama işlemi pigment kullanıldığında gerekli olmamaktadır.Pigment kullanılan renklendirme işlemlerinde, pigmentlerin life substantivitesi olmadığı için binder kullanılarak kumaşa bağlanmaktadır [8, 10, 40].

Pigmentler genel olarak amid-CONHR ve karbonil-C=O gibi kuvvetli hidrojen bağlarına sahip gruplar içeren düzlemsel yapıda moleküllerdir [11].

Dijital baskıda pigmentler kullanıldığında boyarmadde olduğu gibi kumaşa ön işlem uygulanması gerekmemektedir. Bunun yerine ısıl fiksaj ard işlem olarak uygulanmaktadır. Pigment kullanımındaki temel sıkıntı binder kullanımından kaynaklanmaktadır. Binder doğrudan mürekkebe eklenebilir veya kumaşa ard işlem olarak uygulanabilir. İnk jet baskıda pigment kullanıldığında kumaşa ön işlem ve baskı işlemi sonrası yıkama işlemi gerektirmemesi, tüm liflere uygulanabilir olması tekstil baskıcılığının yaklaşık yarısında kullanımına neden olmaktadır [11].

Dijital baskı mürekkeplerinin akış özellikleri önemlidir ve pigment esaslı mürekkep dijital baskı makinesine yüklemmeden önce mürekkebin stabilize edilmesi gerekmektedir. Topaklanmanın hem baskı tonu üzerinde hem de baskı makinesinin kafasının tıkanmasında etkisi olmaktadır. Binderin mürekkep içerisine dahil edilmesi ise bu sorunu artırmakta, aynı zamanda viskoziteyi bazı makineler için uygun olmayacak seviyelere yükseltmektedir. Mevcut baskı kafalarının çoğunda tekstil binderlerine ve pigment esaslı mürekkeplere ilişkin fiziksel ve kimyasal kısıtlamalar bulunmaktadır. Yüksek miktarda pigment kullanımı stabilizasyonu düşürerek püskürtme davranışını, baskı kalitesini ve renk parlaklığını etkilemektedir [6, 15].

Dijital baskı yapılan kumaşların dayanım özellikleri ve ışık haslıklarının yüksek olması istendiğinde pigment esaslı baskı mürekkeplerin kullanımı tercih edilmektedir. Fakat düşük viskoziteli baskı mürekkep formülasyonları içinde, pigmentlerin düşük dağılım stabiliteyi gibi çeşitli dezavantajları vardır. Bu durum mürekkep formülasyonlarında yeterli konsantrasyonda binder kullanılmamasından kaynaklanmaktadır. Pigment parçacıkları toplanarak baskı kafalarındaki uçların tıkanmasına neden olabilir. Bu sebeple inkjet baskı sistemi mürekkeplerinde kullanılan pigmentlerin partikül boyutunun 150 nm'den az olması ve taşıyıcı sıvılarda çözünürlüklerinin yüksek olması gerekir [3, 20]. Tablo 4'te mürekkep ile uyumlu baskı kafaları görülmektedir [4].

Tablo 4. Mürekkep ile uyumlu baskı kafaları [4]

Pigment içeren mürekkep	Piezo ink jet (düşük viskoziteli)	Piezo ink jet (yüksek viskoziteli)	Termal ink jet
Bindersiz	Evet	Evet	Evet
Klasik baskıda kullanılan binder içeren	Hayır	Evet	Hayır
Özel binder içeren	Evet	Evet	Hayır

Pigment içeren inkjet baskı mürekkebi aşağıdaki bileşenleri içermektedir [4, 16, 41]:

- Pigment dispersiyonu,
- Polimerik binder,
- Su bazlı binderler için taşıyıcı olarak su,
- Islatma vb. özellikleri iyileştirmek için yardımcı çözücü,
- Pigmentlerin mürekkep içinde stabil bir şekilde kalabilmesi ve baskı kafasının uçlarını tıkamaması için yüzey aktif madde,
- Baskı işlemi dışındaki zamanlarda kurumayı önlemek için nem tutucu,
- Köpük kesici,
- Kıvamlaştırıcı,
- Kurumayı hızlandırıcı kimyasal,
- Biyosit.

Literatürde pigment esaslı dijital ink jet baskı mürekkepleri ile ilgili yapılan çalışmalar şunlardır:

Elgammal vd. (2016), pigment aglomerasyonunu azaltmak ve mürekkep dispersiyonlarında stabiliteyi arttırmak için organik pigmentleri bir polimer lateks tabakası ile kapsüllemişlerdir. Bu tür polimer-kapsüllü pigmentler daha sonra ayrı bağlayıcı katkı maddeleri eklenmeden dijital ink jet baskıda uygulanarak lateks ve pigment partikülleri arasında istenmeyen etkileşimler azaltılmıştır. Bütil akrilat-ko-metil metakrilat (BA-MMA) veya stiren-ko-bütil akrilat (St-BA) kopolimerlerinin miniemülsiyon polimerizasyonu ile C.I. kırmızı pigment 112 'nin kapsüllemesi incelenmiştir. Monomerin pigment oranı, dijital ink jet baskıda kendinden kürlenebilen hibrit pigment mürekkeplerinin hazırlanması için optimum koşulları bulmak üzere değiştirilmiştir. Kapsüllemiş pigment/polimer lateks parçacıklarının kapsüllememiş geleneksel mürekkeplere kıyasla renk mukavemeti, sürtünme ve yıkama haslığında eşit derecede iyi değerler verirken, baskı kafalarının tıkanmasına neden olmaması gibi büyük bir avantaj söz konusudur. Bu durum hibrit pigment mürekkeplerin, koloidal stabilite ve daha düşük tıkanma riski açısından belirgin avantajlar sunan, geleneksel olarak kullanılan pigment sistemlerine uygun bir alternatif olduğu anlamına gelmektedir [42].

Marie vd. (2013), dijital baskıda pigmentin mürekkep formülasyonu içinde dağılım stabilitesi ve dijital baskı kafasındaki püskürtme uçlarını tıkamaması gibi çeşitli sorunlarla karşı karşıya olması nedeni ile mürekkep formülasyonunda optimum konsantrasyonlarının belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Ayrıca mürekkeplerin yıkama ve sürtme haslıklarının artırılması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, baskıların iyi haslık özelliklerinin yanı sıra mürekkebin iyi fiziksel özelliklerini ortaya çıkarmıştır [43].

Leelajariyakul vd. (2008), yüzey modifikasyonu yapılmış ve mikro kapsüllemiş pigment dispersiyonlarını, pigment esaslı dijital ink jet mürekkep olacak şekilde formüle etmişlerdir. Viskozite, partikül boyutu dağılımındaki değişiklikler ve mürekkep stabilitesini, oda sıcaklığında on iki hafta boyunca her hafta gözlemlemişlerdir. Görünüm ve renk açısından, ipek bir kumaş üzerine yüzey modifikasyonu yapılmış pigmentli mürekkepler ile yapılan baskı işlemlerinde, mikro kapsüllü pigmentli mürekkeplerden daha yüksek optik yoğunluklar ve daha geniş renk gamı elde edilmiştir. Dayanım ve kullanılabilirlik için mikro kapsüllü pigmentli mürekkepler daha iyi haslık sağlamıştır, fakat baskılı ipek kumaşın giyim konforu üzerinde olumsuz etki göstermiştir [44].

Kangwansupamonkon vd. (2011), ipek kumaşlarda kitosan ile baskı ön işleminin ve binder partikül büyüklüğünün etkilerini araştırmışlardır. Özellikle yüksek miktarda kitosan ile ön işlem mürekkepte binder kullanımının kontür netliğini iyileştirdiğini ve baskı kalitesini arttırdığını gözlemlemişlerdir [45].

Shen vd. (2014), inkjet baskı performansını arttırmak için ipek kumaşa köpük aplikasyonu öncesi Tween 80 ve sodyum dodesil sülfat uygulamışlardır. Ayrıca kullanılan ön işlem maddesi ile etilen bazlı oktadesil dimetil amonyum klorürün (EBODAC) uyumunu araştırmışlardır. Sonuçlar Tween 80 ve EBODAC uyumunun daha fazla olduğunu göstermiştir. EBODAC miktarı arttıkça K/S değerlerinde artış olduğu ve işlem görmüş kumaşların kontrol grubundakilere göre daha net kontürlü ve parlak oldukları görülmüştür [46].

Fang vd. (2008), ipek kumaşlara O₂ plazma ön işlemleri sonrasında baskı işlemi uygulamışlardır. Bunun sebebi, herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan, ipek liflerinin düzgün morfolojisi nedeniyle boyarmadde verimlerinin düşük olması ve kolayca akabilmesidir. İpek kumaşın plazma yüzey işlemi, farklı deney koşulları altında O₂ gazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Optimum işlem koşulları, 50 Pa çalışma basıncı ve 80 W çalışma gücünde, 10 dakikalık işlem süresidir. Bu koşullarda O₂ plazma ön işlemi görmüş ipek kumaşlarda, yüksek boyarmadde verimleri ve mükemmel kontür netliği elde edilebilmektedir. Dinamik temas açısı analizinde, ipek lifinin hidrofilliğinin plazma ön işleminden sonra önemli ölçüde iyileştiği görülmüştür. Bu çalışma, ipek kumaş üzerine pigment esaslı ink jet baskının kontür netliğinin düşük sıcaklıkta O₂ plazma ile arttırılabileceğini göstermiştir. Düşük sıcaklıkta oksijen plazma ile işlem görmüş ipek kumaşlar üzerine yapılan baskı, işlem görmemiş ipek kumaşlara kıyasla daha derin ve daha canlı renkler sergilemiştir. Bu nedenlerle, düşük sıcaklıkta oksijen plazması, pigment esaslı mürekkep kullanılan ink jet baskının uygulanması için uygun bir işlem olarak görülmektedir [47].

Gao vd. (2019), dispers mürekkeplerin dijital ink jet baskıda polyester kumaşa uygulanabilirliğini, dispers mürekkebin viskozitesinin ve yüzey geriliminin sırasıyla 2,78 mPa s ve 33,28 mN m⁻¹ olduğunu damlacık oluşum dinamiklerini izleyerek araştırmışlardır. Dispers mürekkebin mükemmel püskürtülme performansı vardır. Farklı baskılı polyester kumaşlarla karşılaştırıldığında, dispers mürekkeple basılan polyester kumaşlar yüksek renk mukavemeti (K/S) ve doygunluk (C*) değerlerine sahiptir. Dijital ink jet baskı için dispers mürekkep, su bazlı polimerlerin eklenmesiyle başarıyla hazırlanmıştır ve polyester kumaşların dijital baskısında kullanılmıştır. Sonuçlar, dispers boya, yüzey aktif madde, ıslatıcı ajan ve su bazlı polimerlerin, dispers mürekkebin reolojik özelliklerini ve dijital ink jet baskının uygulanabilirliğini etkileyen önemli faktörler olduğunu göstermektedir. Damlacıkların yörüngesi ve hızı, dispers mürekkebin çizgi genişliğini ve kenar kontürünü etkiler. Su bazlı polimerlerin kullanıldığında, dispers boya polyester kumaşların yüzeyinde haslıkların iyileştirilmesine sağlayan film tabakası oluşturmuştur [48].

III. İNK JET BASKIDA KALİTE PARAMETRELERİ

Baskı kalitesinin değerlendirilmesinde, baskının kalıcılığı, kullanılabilirliği veya maliyetinin yanı sıra baskı görünümü ve rengi de dikkate alınmaktadır. Tekstillerin dijital baskısında baskı kalitesi ile ilgili sorunlar birkaç ana kategoriye ayrılmaktadır [11, 22, 49]:

- 1) Kontür netliği, metin kalitesi, çözünürlük veya daha az parlaklık gibi görüntü ile ilgili problemler
- 2) Renk ile bağlantılı problemler
- 3) Işık ve yıkama haslığı gibi haslık değerleri ile ilgili sorunlar
- 4) Tutum gibi kullanım ile ilgili problemler

Mürekkep performansının baskı işlemi sonrası görsel analizi, baskılı ve baskısız alan üzerindeki nokta ve çizgilerin incelenmesi ile yapılmaktadır. Analizde, tekstil materyali üzerine mürekkep damlası absorbe olduktan sonra damlanın konumu, şekli, boyutu ve netliği dikkate alınmaktadır. Damlanın hatalı konumu tıkalı püskürtme uçlarından, damlanın kenarındaki şekil bozukluğu, uydu oluşumu ön işlem yapılmaması gibi sebeplerden kaynaklanabilir. Ayrıca baskı patı reolojisi, baskı kalitesi için anahtar bir kelimedir. Rengi, kontür netliğini, boyama düzgünlüğünü, tutumu ve boyarmadde verimini etkilemektedir [11, 22].

Dijital baskı ve konvansiyonel baskıda birçok ortak kalite problemleri söz konusu olmakla birlikte dijital baskının kendine has kalite problemleri de mevcuttur. Bunlara örnek olarak baskı kenarlarında çentik oluşumu, çizgilerde eksik renk ve uydu damla oluşumu verilebilmektedir [49].

Yüksek kaliteli ink jet baskılı kumaşlar üretmek için, baskı yapılacak tekstil materyalinin seçimi, tekstil materyaline uygun mürekkep seçimi, baskı yazılımı, ön işlem patının formülasyonu, ön işlem patının uygulama yöntemleri gibi prosedürlere hakim olmak gerekmektedir. Bu prosedürler, tekstil üreticilerinin beklentilerini karşılayan ink jet baskı kalitesi için çok önemlidir. Son yıllarda inkjet baskı, baskı kalitesinin kontrolünü kolaylaştıran ön işlem patı ve yıkama gibi basit işlem prosedürleri nedeniyle giderek daha popüler hal gelmektedir [50].

IV. SONUÇLAR

Tekstil endüstrisinde dijital baskı makineleri 30 yılı aşkın bir süredir kullanılmasına rağmen geçişli baskı makinelerinin geliştirilmesi ile özellikle son 15 yılda önem kazanmaya başlamışlardır. Makine fiyatlarının daha kabul edilebilir seviyelerde olması, daha kısa metrajlı siparişler, az boyarmadde tüketimi, ayrıca şablon üretim ve depolama alanı gerektirmemesi, daha az su ve enerji kullanımı nedeniyle popülerliği artmaktadır. Son yıllarda ön plana çıkmasındaki ana sebep üretim hızlarının oldukça artmasıdır. Desen tipine bağlı olarak tek geçişli dijital baskı makinelerinin üretim hızı neredeyse rotasyon baskı makinelerindeki üretim hızlarına yaklaşmaktadır.

Dolayısıyla tekstil endüstrisinde kullanılan dijital baskı mürekkepleri de üretim hızlarına uygun hale getirilecek şekilde formüle edilmektedir.

Baskı yapılacak tekstil yüzeylerinin modifikasyonu bu alandaki bir diğer çalışma konusudur. Mevcut baskı mürekkeplerinin tekstil yüzeyine aktarılması sonrası renk kuvvetinin ve haslık özelliklerinin artırılması bu alanda yapılan çalışmaların ana amaçlarındandır.

Mürekkep formülasyonlarında sadece renk ile ilgili özelliklerin değil aynı zamanda fonksiyonel özelliklerinde aktarılması gelecek çalışmalar için önem arz etmektedir. Bu çalışmalar aynı zamanda tasarımcılar içinde önemli olmaktadır (Örnek olarak farklı bölgelere desene göre farklı kokuların basılması vb.).

Doğal boyarmaddelerin dijital baskı sistemlerinde kullanılması da gelecekte yapılacak çalışmalar içerisinde yer almaktadır. Bu sayede sürdürülebilir baskı sistemleri tasarlanabilir. Özellikle atıklardan elde edilen boyarmadde ve liflerin kullanılması bu açıdan önem teşkil etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ding, Y., Zhendong, W., Chuanxiong, Z., Ruobai, X., & Wenliang, X. (2021). A study on the applicability of pigment digital printing on cotton fabrics. *Textile Research Journal*, 91(19-20), 2283-2293.
- [2] Çetin, M. (2019). *Protein liflerinin baskısında ink jet baskı teknolojisinin kullanımı* (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [3] Daplyn, S., & Lin, L. (2003). Evaluation of pigmented ink formulations for jet printing onto textile fabrics. *Pigment & resin technology*.
- [4] Kalav, B. (2012). *Pamuklu Kumaşların İnk Jet Baskısında Bilgi Tabanlı Uzman Sistem Kullanarak Problem Belirleme Ve Giderme* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [5] Selçuk, E. (2009). *İnk jet baskıda kumaşa uygulanan ön işlemlerin baskı kalitesi üzerine etkilerinin araştırılması* (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi).
- [6] Ütebay, B. (2010). Pamuklu Kumaşlara Uygulanan İnk-Jet Baskı İşleminde Renk Verimine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi. *Ege University Institute of Natural and Applied Sciences Department of Textile Engineering Master Thesis, İzmir*.
- [7] Texintel, "New developments for digital textile printing inks-sustainable inks and super fast roduction", 30 Mart 2023, <https://www.texintel.com/blog/2021/2/17/new-developments-for-digital-textile-printing-inks-green-inks-and-super-fast-production>.
- [8] Ding, Y., Shamey, R., Chapman, L. P., & Freeman, H. S. (2019). Pretreatment effects on pigment- based textile inkjet printing—colour gamut and crockfastness properties. *Coloration Technology*, 135(1), 77-86.
- [9] Provost, J. (2011). The Textile printing industry changing the future market dynamics with digital textile printing. *The Colorist*, (3), 4-6.
- [10] Kalav, B. (2012). Troubleshooting Ink Jet Printing of Cotton Substrates Usind A Knowledge-Based Expert System. *Istanbul Technical University*.
- [11] Özgüney, A. T., & Erdem İşmal, Ö. (2003). Tekstil Dijital (İnkjet) Baskı Teknolojisi Temel İlkeleri ve Gelişim Süreci. *Türk Tekstil Vakfı Yayınları, İzmir*, 48-52.
- [12] Blank, K. H., Chassagne, J. M., & Reddig, W. (2004). Colorants in digital textile printing inks. *Textile Ink Jet Printing, Society of Dyers and Colourists, Bradford*, 64-68.
- [13] Le, H. P. (1998). Progress and trends in ink-jet printing technology. *Journal of Imaging Science and Technology*, 42(1), 49-62.
- [14] Tyler, D. J. (2005). Textile digital printing technologies. *Textile Progress*, 37(4), 1-65.
- [15] Tawiah, B., Howard, E. K., & Asinyo, B. K. (2016). The chemistry of inkjet inks for digital textile printing— Review. *BEST*, 4, 61-78.
- [16] Ujiie, H. (Ed.). (2006). *Digital printing of textiles*. Woodhead Publishing.
- [17] Śmigiel-Kamińska, D., Waş-Gubała, J., Stepnowski, P., & Kumirska, J. (2020). The identification of cotton fibers dyed with reactive dyes for forensic purposes. *Molecules*, 25(22), 5435.
- [18] Pal, P. (2017). *Industrial water treatment process technology*. Butterworth-Heinemann.

- [19] Soleimani-Gorgani, A., & Karami, Z. (2016). The effect of biodegradable organic acids on the improvement of cotton ink-jet printing and antibacterial activity. *Fibers and Polymers*, 17, 512-520.
- [20] Wardman, R. H. (2017). *An introduction to textile coloration: principles and practice*. John Wiley & Sons.
- [21] Kan, C. W., & Yuen, C. W. M. (2012). Digital ink-jet printing on textiles. *Research Journal of Textile and Apparel*.
- [22] Faisal, S., Ali, M., Siddique, S. H., & Lin, L. (2021). Inkjet printing of silk: Factors influencing ink penetration and ink spreading. *Pigment & Resin Technology*, 50(4), 285-292.
- [23] Kulube, H. M., & Hawkyard, C. J. (1996). Fabric Pretreatments and Inks for Textile Ink Jet Printing. *ITB Dyeing/Printing/Finishing*, 3, 4-15.
- [24] Yuen, C. W. M., Ku, S. K. A., Choi, P. S., & Kan, C. W. (2004). The effect of the pretreatment print paste contents on colour yield of an inkjet printed cotton fabric. *Fibers and Polymers*, 5(2), 117-121.
- [25] Mathur, A., & Sand, P. M. (2006). Textile print-paste thickeners from polysaccharides. *Science Tech Entrepreneur*.
- [26] Choi, P. S. R., Yuen, C. W. M., Ku, S. K. A., & Kan, C. W. (2005). Digital ink-jet printing for chitosan-treated cotton fabric. *Fibers and Polymers*, 6(3), 229-234.
- [27] Ahmed, N. S., Youssef, Y. A., El- Shishtawy, R. M., & Mousa, A. A. (2006). Urea/alkali- free printing of cotton with reactive dyes. *Coloration technology*, 122(6), 324-328.
- [28] Hou, X., Chen, G., Xing, T., & Wei, Z. (2019). Reactive ink formulated with various alcohols for improved properties and printing quality onto cotton fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 14, 1558925019849242.
- [29] Ma, W., Shen, K., Li, S., Zhan, M., & Zhang, S. (2017). One-bath pretreatment for enhanced color yield of ink-jet prints using reactive inks. *Molecules*, 22(11), 1959.
- [30] Soleimani-Gorgani, A., Najafi, F., & Karami, Z. (2015). Modification of cotton fabric with a dendrimer to improve ink-jet printing process. *Carbohydrate polymers*, 131, 168-176.
- [31] Gregory, P., 2004, SDC Technical Monograph - Textile Ink Jet Printing, 1st Edition, Society of Dyers and Colorists, England.
- [32] Adeel, S., Razzaq, A., Kiran, S., Ahmad, T., Hassan, A., & Rehman, H. U. (2022). A comparative study on sustainable dyeing of silk and wool with acid red 138 dye. *Journal of Natural Fibers*, 19(14), 8181-8190.
- [33] Yang, Y., & Li, S. (2003). Cotton fabric inkjet printing with acid dyes. *Textile research journal*, 73(9), 809-814.
- [34] Hauser, P. J., & Kanik, M. (2003). Printing of Cationized Cotton with Acid Dyes. *AATCC review*, 3(3).
- [35] Musa, H., Abdulmumini, A., Folashade, M. O., Usman, B., & Abba, H. (2013). Studies on the dyeing of wool and nylon fabrics with some acid dyes. *IOSR J. Appl. Chem*, 5(1), 11-17.
- [36] Choi, S., Cho, K. H., Namgoong, J. W., Kim, J. Y., Yoo, E. S., Lee, W., ... & Choi, J. (2019). The synthesis and characterisation of the perylene acid dye inks for digital textile printing. *Dyes and Pigments*, 163, 381-392.
- [37] Hajipour, A., & Shams-Nateri, A. (2017). The effect of fabric density on the quality of digital printing on polyester. *Fibers and Polymers*, 18, 2462-2468.
- [38] Ibrahim, D., & Abd El-Salam, S. H. (2012). Enzymatic treatment of polyester fabrics digitally printed. *J Text Sci Eng*, 2, 1-4.
- [39] Fu, S., Zhang, G., Du, C., & Tian, A. (2011). Preparation of encapsulated disperse dye dispersion for polyester inkjet printing ink. *Journal of Applied Polymer Science*, 121(3), 1616-1621.
- [40] Sinclair, R. (Ed.). (2014). *Textiles and fashion: materials, design and technology*. Elsevier.
- [41] Khan, M. R. (2016). Pigment ink formulation, tests and test methods for pigmented textile inks. *Chemistry and Materials Research*, 8(8), 78-86.
- [42] Elgammal, M., Schneider, R., & Gradzielski, M. (2016). Development of self-curable hybrid pigment inks by miniemulsion polymerization for inkjet printing of cotton fabrics. *Dyes and Pigments*, 133, 467-478.
- [43] Marie, M. M., El-Hamaky, Y. H., Maamoun, D., Ibrahim, D. F., & Abbas, S. M. (2013). Pigment ink formulation for inkjet printing of different textile materials. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 4(1), 239-247.
- [44] Leelajariyakul, S., Noguchi, H., & Kiatkamjornwong, S. (2008). Surface-modified and micro-encapsulated pigmented inks for ink jet printing on textile fabrics. *Progress in Organic Coatings*, 62(2), 145-161.
- [45] Kangwansupamonkon, W., Suknithipol, M., Phattanarudee, S., & Kiatkamjornwong, S. (2011). Inkjet printing: effects of binder particle size and chitosan pretreatment on the qualities of silk fabric. *Surf Coat Int*, 94, 216-225.
- [46] Shen, Q., Chen, S., Wang, C., Liu, C., & Tian, A. (2014). A foam single-face pretreatment to modify silk fabric using EBODAC to improve inkjet printing performance. *The Journal of the Textile Institute*, 105(8), 799-805.

- [47] Fang, K., Wang, S., Wang, C., & Tian, A. (2008). Inkjet printing effects of pigment inks on silk fabrics surfacemodified with O₂ plasma. *Journal of Applied Polymer Science*, 107(5), 2949-2955.
- [48] Gao, C., Xing, T., Hou, X., & Chen, G. (2019). Preparation of disperse inks for direct inkjet printing of non-pretreated polyester fabrics. *RSC advances*, 9(34), 19791-19799.
- [49] Tse, M. K., Briggs, J. C., Kim, Y. K., & Lewis, A. F. (1998). Measuring print quality of digitally printed textiles. *Recent progress in ink jet technologies II*, 548-612.
- [50] Liao, S. K., Chen, H. Y., & Kan, C. W. (2009). A Study of Quality Factors for Cotton Fabrics in Ink-Jet Printing. *Research Journal of Textile and Apparel*.



Derleme Makalesi-Review Article

Acari'de Endosimbiyont Bakteriler

Endosymbiont Bacteria in Acari

Gizem Berber¹, Sibel Yorulmaz^{2*}

Geliş / Received: 30/11/2023

Revize / Revised: 22/03/2023

Kabul / Accepted: 27/03/2023

ÖZ

Acari, arthropoda şubesi içerisinde sayıca fazla ve önemli bir grubu oluşturmaktadır. Bu grup içerisinde keneler, örümcekler ve özellikle tarımsal yararlı ile zararlı akar türleri bulunmaktadır. Tüm bu canlı grupları doğada önemli faaliyetlere sahiptir. Acari içerisinde yer alan canlılar endosimbiyotik bakteriler ile ilişki içerisinde. Endosimbiyont bakteriler, eklembacaklılarda partenogenez, erkek öldürücülük, feminizasyon, sitoplazmik uyumsuzluk (CI) gibi çeşitli üreme manipülasyonlarına neden olmaktadır. Ayrıca besin desteği, doğal düşmanlara karşı savunma ve detoksifikasyon gibi süreçlerde rol almaktadırlar. Konukçularındaki bu etkileri nedeniyle özellikle de tıbbi ve tarımsal zararlı türlerde endosimbiyotik bakteri ilişkilerinin belirlenmesi hem biyolojik çeşitlilik hem de zararlılara karşı alternatif mücadele stratejilerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Bu derlemede Acari içerisinde yer alan canlılar ile endosimbiyotik bakteriler arasındaki ilişkilerinden söz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- *Acari, Endosimbiyont Bakteri, Sitoplazmik Uyumsuzluk*

ABSTRACT

Acari are a large and important phylum within the arthropoda. Ticks, spiders, and especially agricultural beneficial and harmful mite species are included in this group. All of these living groups play significant roles in nature. Endosymbiotic bacteria interact with living things in Acari. Endosymbiont bacteria cause various reproductive manipulations such as parthenogenesis, male killing, feminization, cytoplasmic incompatibility (CI) in arthropods. They also play a role in processes such as nutritional support, defense against natural enemies, and detoxification. Due to these effects on their hosts, the determination of endosymbiotic bacteria relationships, especially in medicinal and agricultural pest species, is important in terms of both biodiversity and determination of alternative control strategies against pests. The relationships between living things in Acari and endosymbiotic bacteria are mentioned in this review.

Keywords- *Acari, Cytoplasmic Incompatibility, Endosymbiotic Bacteria*

¹İletişim: gizem.berber@bilecik.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3090-3705>)

Bitki Koruma Bölümü, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

^{2*}Sorumlu yazar iletişim: sibelyorulmaz@isparta.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0003-3836-5673>)

Bitki Koruma Bölümü, Ziraat Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye

I.GİRİŞ

Acari, 55.214 tanımlanmış tür ile Arthropoda şubesinde Arachnida sınıfı içerisindeki en büyük taksondur [1]. Çeşitli habitatlarda predatör, parazit, fitofag veya detritivor olarak yaşarlar [2]. Parasitif ve Acariformes olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bu gruplarda yer alan Tetranychidae, Tarsonomidae, Tenuipalpidae ve Eriophyidae gibi familyalara ait akarlar, tarımsal ürünlerin önemli zararlıları olarak bilinmektedir [3]. Phytoseiidae familyasının da içerisinde yer aldığı predatör akar familyaları ise biyolojik mücadelede kullanılmaktadır [4]. Depolanmış ürünlerde zarar yapanlar ise Acaridae familyası içerisinde yer almaktadır [5]. Ixodidae familyasındaki keneler, insan ve hayvan sağlığını tehdit eden hastalıkların taşınmasında rol oynamaktadır.

Simbiyozis ilk olarak 1877 yılında Albert Frank tarafından “iki farklı türden birinin diğerinde bulunması veya içinde yaşaması” olarak tanımlanmış, daha sonra 1879’da Anten de Bary simbiyozu “farklı iki organizmanın birlikte yaşaması” şeklinde ifade etmiştir [6]. Endosimbiyozis ise, genellikle bir organizmanın başka bir organizmanın vücudunda veya hücrelerinde karşılıklı bir ilişki içinde yaşamasına denmektedir [7]. Genel olarak, simbiyotik yaşam çok hücreli birçok canlıda görülen ortak yaşam şeklidir. Eklembacaklılardaki simbiyotik ilişkiler incelenmekte ve özellikle de bütün eklembacaklıların %40-60’ında bulunan maternal olarak aktarılan endosimbiyontlar üzerinde durulmaktadır [8,9].

Karasal eklembacaklılar genellikle konukçu hücrelerin sitoplazmasında meydana gelen ve yumurta sitoplazması yoluyla anneden yavruya aktarılan birçok bakteriyi içermektedir [10]. Endosimbiyotik bakteriler eklembacaklılarda oldukça yaygın ve çeşitlidirler [11]. Diğer birçok eklembacaklı türünde olduğu gibi Acariformes içerisinde yer alan canlılarda, konukçularında farklı etkilere neden olabilen simbiyotik ve patojenik bakterilerle yakından ilişkilidir [12,13]. Endosimbiyont bakteriler, konukçularının uygunluğunu doğrudan artırarak [13] veya konukçunun üreme davranışını kendi iletimlerini geliştirecek şekilde etkileyerek [14] frekanslarını arttırmaktadır. Genellikle dikey (vertikal) transfer ile yani anneden yavruya aktarılmakta [15], ancak farklı konukçular arasında yatay transfer yoluyla da bireyler arasında veya farklı taksonlar arasında geçiş meydana gelebilmektedir [16–18]. Yatay iletim, türdeş veya heterospesifik konukçularda veya doğrudan çevre yoluyla gerçekleşebilmesine rağmen, bu endosimbiyontların çoğu ağırlıklı olarak dikey olarak iletilmektedir [19,20].

Şimdiye kadar, arthropodlarda anneden aktarılan altı bakteri türü tanımlanmıştır. Bu endosimbiyontlar arasında, Wolbachia, Rickettsia, Cardinium, Spiroplasma, Arsenophonus [21], Hamiltonella [22,23] ve Flavobacterium bulunmaktadır [24]. Wolbachia, Rickettsia ve Cardinium özellikle örümcekler, akarlar ve keneler olmak üzere keliseratlarda yaygın bulunmaktadır [25–28]. Wolbachia ve Cardinium, Tetranychus [29], Oligonychus [30], Panonychus [30], Schizotetranychus [30], Bryobia [31] ve Amphitetranychus [32] cinslerinde yaygındır ve çeşitli türlerde sitoplazmik uyumsuzluk (CI) görülmektedir [30,33,34].

Maternal olarak aktarılan bu endosimbiyotik bakteriler özellikle son yıllarda potansiyelleri nedeniyle birçok zararlıda taranmaktadır [35–40]. Tarımsal üretimde verim ve kalite açısından zararlılar risk kaynağıdır ve bunların mücadelesinde kullanılan kimyasallara alternatif olarak üreme manipülatörü bakteriler, yenilikçi bir yöntem olarak değerlendirilmektedir [38]. Zararlılarla (özellikle de Akdeniz Meyve Sineği gibi küresel yayılım gösteren türlerde) mücadelede endosimbiyotik bakterilerin kullanımına yönelik Kısır Böcek Tekniği (KBT) kapsamında ya da KBT’nin etkinliğinin artırılması için umut vaat eden yenilikçi çalışmalar gerçekleştirilmektedir [41].

II.ENDOSİMBİYONTBAKTERİLERİN ACARİ’DE ÜREME ÜZERİNE ETKİLERİ

Endosimbiyont bakterilerin konukçularının ekolojisi ile evriminde rolleri çok önemlidir ve onları farklı şekillerde etkileyebilmektedir [42,43]. Bazıları, partenogenez, erkek öldürme, dişileştirme veya CI yoluyla etki göstermektedir [44]. Bazıları ise konukçularının pestisit direncini etkileyebilmektedir [45] veya doğurganlıklarını arttırabilmektedirler [46].

Dikey olarak bulaşan bakterilerden Wolbachia, Rickettsia ve Cardinium eklembacaklıların üreme şeklini partenogenetiğe değiştirebilmektedir [47–49]. Wolbachia ve Spiroplasma’nın *Tetranychus truncatus* Ehara (Acari: Tetranychidae) üzerindeki etkisi araştırılmış ve Wolbachia CI’a sebep olurken Spiroplasma’nın herhangi bir üreme biyolojisini etkilemediği görülmüştür [50]. Wolbachia ve Cardinium endosimbiyontlarının birlikte enfeksiyonu *T. truncatus* dişilerinin doğurganlığını arttırabilmektedir [51].

Wolbachia, Cardinium, Spiroplasma ve Rickettsia birçok eklembacaklı türünün üreme biyolojisi üzerinde etkili olan bu bakteriyel endosimbiyontların temsili cinsleridir [52–55].

A. Erkek Öldürücülük

Endosimbiont bakteriler, canlılarda sadece enfekte ettiği erkek yumurtaları öldürmektedir. Erkek öldürücülük özellikle zararlılarda Diptera [56], Coleoptera [57] ve Arachnida'da [58] belirlenmiştir. Erkek bireyler öldüğü için herhangi bir besin sınırlılığında endosimbiontlu dişi bireyler daha fazla besleneceğinden dolayı bu bir avantaj olarak görülmektedir. Bu şekilde enfekteli dişilerin hayatta kalma şansı artmakta dolayısıyla da endosimbiontların yayılışları artmaktadır [56–59].

B. Sitoplazmik Uyumsuzluk

CI, endosimbiont bakteriler ile enfekteli erkek ve enfekteli olmayan dişiler arasında görülen bir embriyo (döllenen yumurta) ölümüdür. CI, enfekte olmuş dişilerde üremeyi ve dolayısıyla maternal olarak kalıtsal endosimbiontların iletimini destekler [21]. Embriyo ölümünün nedeni sperm ve yumurta arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanmaktadır [60]. Ancak bunun tersi bir durumda, yani enfekteli erkek ile enfekteli bir dişinin çiftleşmesi durumunda CI etkisi gerçekleşmemektedir. Aynı şekilde enfektesiz bir erkek ile enfekteli bir dişi çiftleştiğinde de bu etki görülmemektedir [61–63]. CI moleküler mekanizmaları büyük ölçüde bilinmemekle birlikte, farklı böcek ve izopod türlerinde yapılan sitolojik çalışmalar, erkek ve dişi pronükleusların gelişimindeki uyumsuzluğu tanımlayarak embriyonun ilk mitotik bölünmesinde kusurlara yol açmıştır [64,65].

Bakteriyel endosimbiontlar tarafından etkilenen farklı üreme etkileri arasında CI en yaygın görülenidir; akarlarda, izopodlarda ve böceklerde Wolbachia ile Cardinium tarafından kaynaklandığı bildirilmiştir [21].

Birçok eklambacıklı türünde CI' nenden olan en yaygın ve iyi araştırılmış endosimbiont bakterisi, Wolbachia cinsinin üyeleridir. Son zamanlarda, Rickettsiales'teki başka bir türün de CI' a neden olduğu öne sürülmüştür [66]. Ayrıca, Cardinium cinsinin üyelerinin de CI' u teşvik ettiği belirtilmiştir [67].

C. Partenogenez

Endosimbiont bakterilerden bazılarının konukçularının üreme davranışı üzerindeki diğer bir etkisi de partenogenezdir. Bunu çekirdekte kromozom duplikasyonu sayesinde, thelytokie (döllenen yumurtalardan dişilerin meydana gelmesi) yoluyla gerçekleştirmektedir. Böylece partenogenetik dişilerin üretilmesi teşvik edilmektedir. Bu partenogenetik dişiler, seksüel erkeklerle çiftleştiklerinde, diploid dişiler meydana gelmektedir [15,68,69]. Sitoplazma yoluyla aktarılan ve partenogenez teşvik eden bakteriler Thysanoptera, Hymenoptera gibi böcek takımlarında ve akarlarda ise phytoseiidler, tetranychid ile bryobia türlerinde tespit edilmiştir [61,70–73]. Wolbachia, Cardinium ve Rickettsia endosimbiontları bu stratejiyi kullanarak haplodiploid böceklerde (hymenopteranlar ve thripsler) ve akarlarda partenogenez neden olmaktadır [74,75].

D. Dişileştirme (Feminizasyon)

Dişileştirici endosimbiont bakteriler, anneden yavruya aktarımlarını gerçekleştirmek için dişi gelişimini yönlendirmektedirler. Başarılı bir endosimbiont geçişi, yalnızca erkek ve dişilerin üretimini değil, aynı zamanda çiftleşmeyi de gerektirmektedir. Bir endosimbiont bakterisi açısından, manipülasyon, erkekleri önemsiz hale getirirken dişilerin gelişimini devam ettirmektedir. Genel olarak cinsiyet belirlenmesi üzerinde etkili olarak genetik erkekleri fonksiyonel fenotipik dişilere dönüştürmektedirler [68,69,76]. Yapılan çalışmalarda dişileştirme Wolbachia, Cardinium ve Rickettsia gibi bakteriler tarafından kullanılmaktadır [74,75]. Bakteriyel endosimbiont Cardinium tarafından *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae) dişileştirilmiştir [72].

III. ACARI'DE BELİRLenen ENDOSİMBİYONT BAKTERİLER

A. Wolbachia

Wolbachia, Rickettsiales takımında Anaplasmataceae familyasına ait gram negatif bir bakteridir [77]. Çeşitli eklambacıklı gruplarında obligat endosimbiont olarak kabul edilir [77]. Dağılımı konukçu ekolojisi ve biyolojisi ile ilgilidir [78,79]. Arthropodların üreme dokularında bulunmaktadırlar [69] ve bu organizmaların üreme biyolojilerini etkileyen bakteriler türleri arasında en yaygın olanıdır [27]. Konukçularında, CI, partenogenez, erkek öldürücülük, virülenslik ve feminizasyon şeklinde üreme değişikliklerine neden olmaktadır [68]. Bu bakteriler, cinsiyet belirlenmesini bozmakta ve genetik erkekler, fonksiyonel fenotipik dişilere dönüşmektedir. Wolbachia, konukçunun feminizasyonunu teşvik eden bezlerin gelişimini baskılayarak erkekleri dişilere dönüştürmektedir [68–70].

Akarlar içinde Wolbachia'nın, esas olarak CI ve partenogenez sebepleri olduğu phytoseiidler ile tetranychid türlerinde tespit edilmiştir [30,80,81]. Çeşitli çalışmalar, herbivor akarların sıklıkla Wolbachia ile enfekte olduğunu göstermiştir [28,30,82–86].

Wolbachia, *T. truncatus* Ehara, *T. kanzawai* Kishida ve *T. urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) gibi birçok tetranychid türde bulunabilir [87]. 1997 yılının başlarında yapılan bir çalışmada, Wolbachia'nın *T. urticae* ve *T. turkestanii* Ugarov ve Nikolskii'de CI' a sebep olduğu belirlenmiştir [29]. Japonya'da 42 tetranychid türü

üzerinde yapılan sistematik bir araştırmada, yedi türün (%16,7) Wolbachia ile enfekte olduğu ortaya çıkarılmış ve CI göstermediği bildirilmiştir [30]. Yapılan bir çalışmada *T. urticae*'nin ve *Bryobia rubrioculus* Scheuten (Acari: Tetranychidae)'un Wolbachia taşıdığı belirlenmiştir. Wolbachia'nın bazı endosimbiontlarla birlikte enfeksiyonu beklenenden daha yüksek bulunmuştur [88].

Endosimbiyotik bakterilerle ilişkili hastalıklar ve/veya üreme bozuklukları, predatör akarların yetiştirilmesi üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir [89]. Çeşitli yapılan çalışmalar sonucu, phytoseiid akarlarda da endosimbiyotik bakterilerin varlığı bildirilmiştir [89,90]. Predatör akarlar arasında *Metaseiulus occidentalis* (Nesbitt) (Acari: Phytoseiidae) muhtemelen en iyi çalışılan türdür [12]. *M. occidentalis*'te, Wolbachia, enfekte olmuş erkekler ve enfekte olmamış dişiler arasında karşılıklı olmayan üreme uyumsuzluklarına neden olmuştur. Enfekte olmayan dişiler, enfekte erkeklerle çaprazlandığında az sayıda yumurta üretilmiş ve dişi birey meydana gelmemiştir. Üretilen yumurtaların çoğu da buruşmuştur [91]. Wolbachia'nın *M. occidentalis*'te üreme uyumsuzluklarına neden olduğu mekanizmalar bilinmemektedir.

Wolbachia, ekonomik ve tıbbi açıdan önemli depolanmış ürün akarları *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (Acari: Acaridae)'de tespit edilmiştir [92]. *Rhipicephalus sanguineus* (Acari: Ixodidae) kenelerinde Wolbachia endosimbiontunun genetik kimliği Tayvan'da ilk kez belirlenmiştir [93]. Oribatid akar *Gustavia microcephala* (Acari: Oribatida)'da ilk kez Wolbachia rapor edilmiştir [94].

B. Cardinium

Cardinium sp. ilk olarak *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) kenesinden oluşturulan hücre kültürlerinde bulunmuştur [95]. Cardinium (Bacteroidetes şubesinde), örümceklerden parazitik yaban arılarına kadar çeşitli eklembacaklıları enfekte etmiştir ayrıca feminizasyon, partenogenez ve CIdahil olmak üzere farklı üreme bozukluklarına neden olmuştur [55]. Cardinium enfeksiyonları Wolbachia'dan daha az görülür ve Hymenoptera, Hemiptera, Diptera ve Acari ile sınırlıdır [96,97]. Cardinium, Phytoseiidae, Acaridae, Glycyphagidae, Pyroglyphidae ve Tenuipalpidae familyalarının birden fazla türünde belirlenmiştir [28].

Cardinium, Tetranychidae familyasının 15 türünde bulunmuş, *Tetranychus piercei* McGregor [34], *T. phaselus* Ehara [51], *T. truncatus* [51] ve *Eotetranychus suginamensis* (Yokoyama) (Acari: Tetranychidae) [82], *Bryobia sarothamni* [31] ve *Tetranychus cinnabarinus* [86] türlerinde ise CI'a neden olmuştur.

Cardinium ayrıca predatör akar *Euseius finlandicus* (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae) ve herbivor akar *Eotetranychus uncatus* Garman (Acari: Tetranychidae)'da da bulunmuştur [80]. Cardinium'un *M. occidentalis* ve *Balaustium* sp. [55,97] gibi predatörleri ve *Petrobia harti* Erwing (Acari: Tetranychidae), *Brevipalpus obovatus* Donnadieu, *B. phoenicis* Geijskes [97,98] ve *B. californicus* (Banks) (Acari: Tenuipalpidae) [98,99] gibi herbivor türleri de enfekte ettiği gösterilmiştir. Tarımsal ürünlerde önemli zarara neden olan kırmızı örümceklerin önemli bir avcısı olan phytoseiid *M. occidentalis*'te Cardiniumun karşılıklı olmayan üreme uyumsuzluğu ile ilişkili olduğu bulunmuştur [100].

Wolbachia sp., *Rickettsia* sp., *Cardinium* sp., *Spiroplasma* sp., *Arsenophonus* sp., *Hamiltonella* sp. ve *Flavobacterium* bakterilerinin Oribatid akarlarda dağılımını araştırmışlardır ve *Achipteria coleoprata* (Linnaeus, 1758) (Acari: Oribatida)'da *Cardinium* sp. ilk kez belirlenmiştir [101].

C. Spiroplasma

Spiroplasma, Mollicutes (Firmicutes içinde) sınıfına ait hücre duvarı olmayan gram pozitif bir bakteridir. Öncelikli olarak böceklerle, ancak çok daha az sıklıkla akarlar ve bitkilerle ilişkili maternal kalıtsal endosimbiontlardan biridir [102]. Konukçularının biyotik ve abiyotik streslere karşı korunmasında rol oynamaktadırlar [103–106].

Spiroplasma bugüne kadar sadece Tetranychidae familyasında *T. truncatus* ve *T. urticae*'de bulunmuştur [88,107] fakat bu türlerde üreme bozuklukları görülmemiştir [50]. Ayrıca yapılan başka bir çalışmada Spiroplasma, *T. urticae*, *T. truncatus* [50] ve predatör akar *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae)'da [80] belirlenmiştir. *T. truncatus*'ta Spiroplasma ve Wolbachia'nın aynı bireyi birlikte enfekte edebileceği bildirilmiştir [50].

E. finlandicus'ta Cardinium ve *N. californicus* (McGregor)'da Spiroplasma bakterisini belirlemişlerdir [80]. *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae)'in birkaç ticari popülasyonunda *Acaricomus phytoseiuli* bakterisi keşfedilmiştir [108]. Enfekte olmuş predatör akarlar, olmayanlara göre daha düşük doğurganlık ile uzun ömür sergilemiş ve tetranychidlerin neden olduğu bitki uçucularına karşı daha az çekicilik göstermiştir. Ayrıca enfekte olmuş *P. persimilis* popülasyonları tetranychidlerin etkin kontrolü için uygunsuz hale gelmiştir [109].

Keneler, genellikle anneden aktarılan endosimbiont bakterileri bulundurmaktadır [26,110]. 1982 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde *Haemaphysalis leporis-palustris* (Packard) (Acari: Ixodidae)'de riketsiya araması

sırasında *Spiroplasma mirum* elde edilmiştir ve kene ilişkili ilk bildirilen Spiroplasmadır [111]. Başka bir tür, *Spiroplasma ixodetis*, 1981'de Amerika Birleşik Devletleri'ndeki *Ixodes pacificus* Cooley & Kohls (Acari: Ixodidae)'tan izole edilmiştir [112].

Spiroplasma ixodetis, esas olarak kenelerden tanımlanan, ancak diğer eklembacaklılarda da yaygın olarak bulunan, anneden aktarılan bir endosimbiont bakteridir. İlk keşfinden bu yana, *S. ixodetis* türünün konukçu aralığı genişlemiştir; *I. pacificus*, *I. ricinus*, *I. arboricola*, *I. frontalis*, *I. uriae*, *I. ovatus*, *I. persulcatus*'de ve diğer bazı belirlenmemiş, *Ixodes* türlerinde ayrıca *Dermacentor marginatus*, *Rhipicephalus annulatus*, *R. decoloratus*, *R. pusillus* ve *R. Geigy*'de bulunmuştur [26,113–118].

Macrocheles subbadius (Berlese) (Acari: Macrochelidae)'ta olduğu gibi birçok kene Spiroplasma'yı beslenmeden alabilir, Spiroplasmaların ektoparazitik keneler tarafından *Drosophila nebulosi* ve *D. willistoni* arasında türlerarası geçişe sahip olduğu belirlenmiştir [119]. Benzer şekilde bal arısı parazit akarı *Varroa destructor* Anderson ve Trueman (Arachnida: Acari: Varroidae)'un da bal arısı hemolenfini emmesiyle Spiroplasma'yı alabildiği belirtilmiştir [120].

D. Rickettsia

Rickettsiyalar, Rickettsiaceae familyasında, gram-negatif, zorunlu hücre içi patojenler olup küçük kokobasillerdir. Oldukça kalabalık ve heterojen bir bakteri grubu olan rickettsiya cinsinde 24 tür tanımlanmıştır; çoğunluğu kenelerle, bazıları ise akarlarla ilişkilidir [121]. Rickettsia ve Wolbachia cinsleri Rickettsiales'e (alfa proteobakteriler içinde) aittir ve üreme değişikliklerine (feminizasyon, thelytokous partenogenez, CI ve erkek ölümü gibi) neden olan ve aynı zamanda pestisit direnci gelişimi ile ilgili olan türlerdir [69,122–126].

Tetranychid türleri çok çeşitli endosimbiontları barındırır ve birçok türün birden fazla endosimbiontu vardır [29,84]. Bugüne kadar, tetranychid türlerinden en az dört farklı, Wolbachia, Cardinium, Rickettsia ve Spiroplasma endosimbiontları bildirilmiştir [28]. Endosimbiont'ların doğal popülasyonlarda yayılmasını kolaylaştıran CI ve diğer etkilere neden olma yeteneklerine rağmen, enfeksiyon sıklıkları tetranychidlerin coğrafi popülasyonları arasında farklılık göstermektedir [28].

Wolbachia ve Cardinium'a göre, Rickettsia ve Spiroplasma daha az yaygın görülürler ve sırasıyla yalnızca *T. urticae* ve *T. truncatus*'ta bulunmuşlardır [28]. Kırmızı örümcekler üzerindeki fenotipik etkileri henüz bilinmemektedir [127].

Bugüne kadar, Rickettsia'nın varlığı için keneler, diğer konukçulardan çok daha fazla örneklenmiştir [128]. Rickettsiyaların vektörleri olan Ixodidae'ler, bu endosimbiont bakteriler için kaynak ve çoğaltıcı konukçu görevi görebilir [129].

IV.SONUÇ

Son yıllarda maternal olarak aktarılan endosimbiont bakteriler potansiyelleri nedeniyle birçok zararlıda taranmaktadır. Zararlı popülasyonlarını ekonomik zarar eşiği altında tutmak amacıyla popülasyonlarını baskılayacak yöntemlerden biri olarak yumurta yolu ile aktarılan, konukçularında beslenme, doğal düşmanlara karşı savunma, detoksifikasyon ve/veya üreme manipülasyonları gibi etkilere sebep olan bakterilerin kullanımı gösterilmektedir. Bu amaçla son 20 yıldır özellikle zararlı arthropodlardasimbiont olarak yaşayan sekonderendosimbiont bakterilere yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Acari, arthropoda şubesi içerisinde sayıca fazla olması ve farklı ortamlarda yaşam alanları sebebiyle önemli bir grubu oluşturmaktadır. Endosimbiont bakterilerin, akarların biyolojisi, ekolojisi ve üreme değişiklikleri üzerindeki rolleri çok önemlidir. Wolbachia, Rickettsia ve Cardinium özellikle örümcekler, akarlar ve keneler olmak üzere keliseratlarda en yaygın olarak bulunan endosimbiont bakterilerdir. Bu endosimbiont bakteriler Acaritaksonu içerisinde yer alan canlıları birçok konuda pozitif, negatif veya nötr olarak etkileyebilmektedir. Endosimbiont bakterilerin bu akar türleri üzerinde belirlenen direkt etkilerinin olması sebebiyle aralarındaki ilişkilerin belirlenmesi mücadelelerinde yeni stratejilerin oluşturulabilmesi açısından önemlidir. Yine son yıllarda üzerinde durulan diğer bir konu da endosimbiont bakterilerin tarımsal zararlı akarlarda pestisit direnç gelişimi üzerinde doğrudan ya da dolaylı etkileridir. Bu tür bir etkinin akar ve bakteri türleri açısından belirlenmesi de yine mücadele stratejilerini değiştirebilecektir. İşte tüm bu nedenler göz önüne alındığında, ileride yapılacak çalışmalarda, bu organizmaların akarlarda varlığı tespit edilip hangi mekanizmalarda etkili oldukları detaylı bir şekilde araştırılmalı ve mücadelelerinde kullanımları değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Zhang, Z.-Q. (2013). 'Phylum Arthropoda. In: Zhang, Z.-Q. (Ed.) Animal Biodiversity: An Outline of Higher-level Classification and Survey of Taxonomic Richness (Addenda 2013)'. *Zootaxa*. 3703 (1), 17.
- [2] Krantz, G.W. & Walter, D.E., Eds. (2009). A manual of acarology. 3rd ed Texas Tech University Press, Lubbock, Tex.

- [3] Helle, W. & Sabelis, M.W. (1985). Spider mites: their biology, natural enemies and control. in: pp. 141–160.
- [4] Gerson, U., Smiley, R.L., & Ochoa, R., (2003). Mites (acari) for pest control. 2nd ed. Blackwell Science, Oxford ; Malden, MA.
- [5] Palyvos, N.E., Emmanouel, N.G., & Saitanis, C.J. (2008). Mites associated with stored products in Greece. *Experimental and Applied Acarology*. 44 (3), 213–226.
- [6] Sapp, J. (1994). Evolution by Association: A History of Symbiosis. Oxford University Press, .
- [7] Kumar, N., Anjana, N., & Anjana, G. (2022). Endosymbionts: A New Frontier in Insect Pest Management. in: Applied Entomology and Zoology, pp. 43–57.
- [8] Brelsfoard, C. & Dobson, S. (2009). Wolbachia-based strategies to control insect pests and disease vectors. *Asia Pac. J. Mol. Biol. Biotechnol.* 17.
- [9] Zug, R. & Hammerstein, P. (2012). Still a Host of Hosts for Wolbachia: Analysis of Recent Data Suggests That 40% of Terrestrial Arthropod Species Are Infected. *PLoS ONE*. 7 (6), e38544.
- [10] Moran, N.A., McCutcheon, J.P., & Nakabachi, A. (2008). Genomics and Evolution of Heritable Bacterial Symbionts. *Annual Review of Genetics*. 42 (1), 165–190.
- [11] Buchner, P. (1965) Endosymbiosis of animals with plant microorganisms.
- [12] Hoy, M.A. & Jeyaprakash, A. (2008). Symbionts, including pathogens, of the predatory mite *Metaseiulus occidentalis*: current and future analysis methods. *Experimental and Applied Acarology*. 46 (1–4), 329–347.
- [13] Schütte, C. & Dicke, M. (2009). Verified and potential pathogens of predatory mites (Acari: Phytoseiidae). in: J. Bruin, L.P.S. van der Geest (Eds.), Diseases of Mites and Ticks, Springer Netherlands, Dordrecht pp. 307–328.
- [14] Werren, J.H. & O'Neill, S.L. (1997). The evolution of heritable symbionts. *Influential passengers: inherited microorganisms and arthropod reproduction*. 1–41.
- [15] Bandi, C., Dunn, A.M., Hurst, G.D.D., & Rigaud, T. (2001). Inherited microorganisms, sex-specific virulence and reproductive parasitism. *Trends in Parasitology*. 17 (2), 88–94.
- [16] Ahmed, M.Z., Breinholt, J.W., & Kawahara, A.Y. (2016). Evidence for common horizontal transmission of Wolbachia among butterflies and moths. *BMC Evolutionary Biology*. 16 (1), 118.
- [17] Brown, A.N. & Lloyd, V.K. (2015). Evidence for horizontal transfer of Wolbachia by a Drosophila mite. *Experimental and Applied Acarology*. 66 (3), 301–311.
- [18] Kremer, N. & Huigens, M.E. (2011). Vertical and horizontal transmission drive bacterial invasion: NEWS AND VIEWS: PERSPECTIVE. *Molecular Ecology*. 20 (17), 3496–3498.
- [19] Caspi-Fluger, A., Inbar, M., Mozes-Daube, N., Katzir, N., Portnoy, V., Belausov, E., et al. (2012). Horizontal transmission of the insect symbiont *Rickettsia* is plant-mediated. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 279 (1734), 1791–1796.
- [20] Sintupachee, S., Milne, J.R., Poonchaisri, S., Baimai, V., & Kittayapong, P. (2006). Closely Related Wolbachia Strains within the Pumpkin Arthropod Community and the Potential for Horizontal Transmission via the Plant. *Microbial Ecology*. 51 (3), 294–301.
- [21] Cordaux, R., Bouchon, D., & Grève, P. (2011). The impact of endosymbionts on the evolution of host sex-determination mechanisms. *Trends in Genetics*. 27 (8), 332–341.
- [22] Dykstra, H.R., Weldon, S.R., Martinez, A.J., White, J.A., Hopper, K.R., Heimpel, G.E., et al. (2014). Factors Limiting the Spread of the Protective Symbiont *Hamiltonella defensa* in *Aphis craccivora* Aphids. *Applied and Environmental Microbiology*. 80 (18), 5818–5827.
- [23] Rao, Q., Wang, S., Su, Y.-L., Bing, X.-L., Liu, S.-S., & Wang, X.-W. (2012). Draft Genome Sequence of “Candidatus *Hamiltonella defensa*,” an Endosymbiont of the Whitefly *Bemisia tabaci*. *Journal of Bacteriology*. 194 (13), 3558–3558.
- [24] Majerus, T.M. & Majerus, M.E. (2010). Discovery and identification of a male-killing agent in the Japanese ladybird *Propylea japonica* (Coleoptera: Coccinellidae). *BMC Evolutionary Biology*. 10 (1).
- [25] Duron, O., Bouchon, D., Boutin, S., Bellamy, L., Zhou, L., Engelstädter, J., et al. (2008). The diversity of reproductive parasites among arthropods: Wolbachia do not walk alone. *BMC Biology*. 6 (1).
- [26] Duron, O., Binetruy, F., Noël, V., Cremaschi, J., McCoy, K.D., Arnathau, C., et al. (2017). Evolutionary changes in symbiont community structure in ticks. *Molecular Ecology*. 26 (11), 2905–2921.
- [27] Weinert, L.A., Araujo-Jnr, E.V., Ahmed, M.Z., & Welch, J.J. (2015). The incidence of bacterial endosymbionts in terrestrial arthropods. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 282 (1807), 20150249.
- [28] Zhang, Y.-K., Chen, Y.-T., Yang, K., & Hong, X.-Y. (2016). A review of prevalence and phylogeny of the bacterial symbiont *Cardinium* in mites (subclass: Acari). *Systematic and Applied Acarology*. 21 (7), 978–990.
- [29] Breeuwer, J.A.J. (1997). Wolbachia and cytoplasmic incompatibility in the spider mites *Tetranychus urticae* and *T. turkestanus*. *Heredity*. 79 (1), 41–47.

- [30] Gotoh, T., Noda, H., & Hong, X.-Y. (2003). Wolbachia distribution and cytoplasmic incompatibility based on a survey of 42 spider mite species (Acari: Tetranychidae) in Japan. *Heredity*. 91 (3), 208–216.
- [31] Ros, V.I.D. & Breeuwer, J. a. J. (2009). The effects of, and interactions between, *Cardinium* and *Wolbachia* in the doubly infected spider mite *Bryobiasarothamni*. *Heredity*. 102 (4), 413–422.
- [32] Zhang, Y., Sun, B., & Hong, X. (2014). Infection and reproductive effects of *Wolbachia* in the hawthorn spider mite, *Amphitetranychus viennensis* (Acarina: Tetranychidae). *Acta Entomologica Sinica*. 57 (8), 914–920.
- [33] Zhao, J., Neher, D.A., Fu, S., Li, Z., & Wang, K. (2013). Non-target effects of herbicides on soil nematode assemblages. *Pest Management Science*. 69 (6), 679–684.
- [34] Zhu, L.-Y., Zhang, K.-J., Zhang, Y.-K., Ge, C., Gotoh, T., & Hong, X.-Y. (2012). *Wolbachia* Strengthens *Cardinium*-Induced Cytoplasmic Incompatibility in the Spider Mite *Tetranychus piercei* McGregor. *Current Microbiology*. 65 (5), 516–523.
- [35] Asimakis, E.D., Doudoumis, V., Hadapad, A.B., Hire, R.S., Batargias, C., Niu, C., et al. (2019). Detection and characterization of bacterial endosymbionts in Southeast Asian tephritid fruit fly populations. *BMC Microbiology*. 19 (S1),.
- [36] Bourtzis, K. & Miller, T.A., Eds. (2003). Insect symbiosis. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- [37] Hancock, P.A., Sinkins, S.P., & Godfray, H.C.J. (2011). Strategies for Introducing *Wolbachia* to Reduce Transmission of Mosquito-Borne Diseases. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 5 (4), e1024.
- [38] Madhav, M., Baker, D., Morgan, J.A.T., Asgari, S., & James, P. (2020). *Wolbachia*: A tool for livestock ectoparasite control. *Veterinary Parasitology*. 288, 109297.
- [39] İpekdal, K. & Kaya, T. (2020). Screening stored wheat beetles for reproductive parasitic endosymbionts in central Turkey. *Journal of Stored Products Research*. 89, 101732.
- [40] Xu, X., Ridland, P.M., Umina, P.A., Gill, A., Ross, P.A., Pirtle, E., et al. (2021). High Incidence of Related *Wolbachia* across Unrelated Leaf-Mining Diptera. *Insects*. 12 (9), 788.
- [41] Kaya, T. & İpekdal, K. (2017). Türkiye’de Yayılış Gösteren Akdeniz Meyve Sineğinde, *Ceratitiscapitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae), *Cardinium* Bakterisinin Taranması ve Tanımlanması. *undefined*. 1–77.
- [42] Feldhaar, H. (2011) Bacterial symbionts as mediators of ecologically important traits of insect hosts. *Ecological Entomology*. 36 (5), 533–543.
- [43] Oliver, K.M., Smith, A.H., & Russell, J.A. (2014). Defensive symbiosis in the real world – advancing ecological studies of heritable, protective bacteria in aphids and beyond. *Functional Ecology*. 28 (2), 341–355.
- [44] Correa, C.C. & Ballard, J.W.O. (2016). *Wolbachia* Associations with Insects: Winning or Losing Against a Master Manipulator. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 3.
- [45] Li, Y., Liu, X., & Guo, H. (2018). Variations in Endosymbiont Infection Between Buprofezin-Resistant and Susceptible Strains of *Laodelphax striatellus* (Fallén). *Current Microbiology*. 75 (6), 709–715.
- [46] Weeks, A.R. & Stouthamer, R. (2004). Increased fecundity associated with infection by a *Cytophaga*-like intracellular bacterium in the predatory mite, *Metaseiulus occidentalis*. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 271 (suppl_4),.
- [47] van der Kooij, C.J., Matthey-Doret, C., & Schwander, T. (2017). Evolution and comparative ecology of parthenogenesis in haplodiploid arthropods. *Evolution Letters*. 1 (6), 304–316.
- [48] Ma, W.-J. & Schwander, T. (2017). Patterns and mechanisms in instances of endosymbiont-induced parthenogenesis. *Journal of Evolutionary Biology*. 30 (5), 868–888.
- [49] Tomassone, L., Portillo, A., Nováková, M., de Sousa, R., & Oteo, J.A. (2018). Neglected aspects of tick-borne rickettsioses. *Parasites & Vectors*. 11 (1), 263.
- [50] Yang, K., Xie, K., Zhu, Y.-X., Huo, S.-M., Hoffmann, A., & Hong, X.-Y. (2020). *Wolbachia* dominate *Spiroplasma* in the co-infected spider mite *Tetranychus truncatus*. *Insect Molecular Biology*. 29 (1), 19–37.
- [51] Zhao, D.-X., Zhang, X.-F., & Hong, X.-Y. (2013). Host-Symbiont Interactions in Spider Mite *Tetranychus truncatus* Doubly Infected With *Wolbachia* and *Cardinium*. *Environmental Entomology*. 42 (3), 445–452.
- [52] Duron, O. & Hurst, G.D. (2013). Arthropods and inherited bacteria: from counting the symbionts to understanding how symbionts count. *BMC Biology*. 11 (1), 45.
- [53] Engelstädter, J. & Hurst, G.D. (2009). What use are male hosts? The dynamics of maternally inherited bacteria showing sexual transmission or male killing. *The American Naturalist*. 173 (5), E159–E170.
- [54] Jeyaprakash, A. & Hoy, M.A. (2000). Long PCR improves *Wolbachia* DNA amplification: wsp sequences found in 76% of sixty-three arthropod species. *Insect Molecular Biology*. 9 (4), 393–405.
- [55] Zchori-Fein, E. & Perlman, S.J. (2004). Distribution of the bacterial symbiont *Cardinium* in arthropods. *Molecular Ecology*. 13 (7), 2009–2016.
- [56] Hurst, G.D.D., Johnson, A.P., Schulenburg, J.H.G. v d, & Fuyama, Y. (2000). Male-Killing *Wolbachia* in *Drosophila*: A Temperature-Sensitive Trait With a Threshold Bacterial Density. *Genetics*. 156 (2), 699–709.

- [57] Fialho, R.F. & Stevens, L. (2000). Male-killing *Wolbachia* in a flour beetle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 267 (1451), 1469–1473.
- [58] Zeh, D.W., Zeh, J.A., & Bonilla, M.M. (2005). *Wolbachia*, sex ratio bias and apparent male killing in the harlequin beetle riding pseudoscorpion. *Heredity*. 95 (1), 41–49.
- [59] Hurst, L.D. (1991). The incidences and evolution of cytoplasmic male killers. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 244 (1310), 91–99.
- [60] McGraw, E.A. & O'Neill, S.L. (1999). Evolution of *Wolbachia pipientis* transmission dynamics in insects. *Trends in Microbiology*. 7 (7), 297–302.
- [61] Markov, A.V. & Zakharov, I.A. (2005). Sexual Reproduction of Insects Is Regulated by Cytoplasmic Bacteria. *Russian Journal of Developmental Biology*. 36 (4), 230–239.
- [62] Werren, J.H., Baldo, L., & Clark, M.E. (2008). *Wolbachia*: master manipulators of invertebrate biology. *Nature Reviews Microbiology*. 6 (10), 741–751.
- [63] Werren, J.H. & Beukeboom, L.W. (1998). Sex Determination, Sex Ratios, and Genetic Conflict. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 29 (1), 233–261.
- [64] Moret, Y., Juchault, P., & Rigaud, T. (2001). *Wolbachia* endosymbiont responsible for cytoplasmic incompatibility in a terrestrial crustacean: effects in natural and foreign hosts. *Heredity*. 86 (3), 325–332.
- [65] Serbus, L.R., Casper-Lindley, C., Landmann, F., & Sullivan, W. (2008). The Genetics and Cell Biology of *Wolbachia* -Host Interactions. *Annual Review of Genetics*. 42 (1), 683–707.
- [66] Takano, S., Tuda, M., Takasu, K., Furuya, N., Imamura, Y., Kim, S., et al. (2017). Unique clade of alphaproteobacterial endosymbionts induces complete cytoplasmic incompatibility in the coconut beetle. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 114 (23), 6110–6115.
- [67] Penz, T., Schmitz-Esser, S., Kelly, S.E., Cass, B.N., Müller, A., Woyke, T., et al. (2012). Comparative Genomics Suggests an Independent Origin of Cytoplasmic Incompatibility in *Cardinium hertigii*. *PLoS Genetics*. 8 (10), e1003012.
- [68] Doran, T. & Moore, R. (2001). Application of the reproductive parasite *Wolbachia* to the biological control of flystrike. In *Proceedings of the FLICS Conference, Launceston* (pp. 4-6).
- [69] Werren, J.H. (1997). BIOLOGY OF *WOLBACHIA*. *Annual Review of Entomology*. 42 (1), 587–609.
- [70] Charlat, S. & Merçot, H. (2000). News and Comment Trends. *Trends in Ecology and Evolution* 15 (11): 438. 440.
- [71] Saridaki, A. & Bourtzis, K. (2010). *Wolbachia*: more than just a bug in insects genitals. *Current Opinion in Microbiology*. 13 (1), 67–72.
- [72] Weeks, A.R., Marec, F., & Breeuwer, J.A.J. (2001). A Mite Species That Consists Entirely of Haploid Females. *Science*. 292 (5526), 2479–2482.
- [73] Zchori-Fein, E., Faktor, O., Zeidan, M., Gottlieb, Y., Czosnek, H., & Rosen, D. (1995). Parthenogenesis-inducing microorganisms in *Aphytis* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Insect Molecular Biology*. 4 (3), 173–178.
- [74] Huigens, M.E. & Stouthamer, R. (2003). Parthenogenesis Associated with *Wolbachia*. *Insect symbiosis*, in: p. 247.
- [75] Stouthamer, R. (1997). *Wolbachia*-induced parthenogenesis. *Influential Passengers*. Edited by: O'Neill SL, Werren JH.
- [76] Charlat, S., Hurst, G.D.D., & Merçot, H. (2003). Evolutionary consequences of *Wolbachia* infections. *Trends in Genetics*. 19 (4), 217–223.
- [77] Scola, B., Bandi, C., & Raoult, D. (2005). *Wolbachia Hertig* 1936, 472 AL. in: D.J. Brenner, N.R. Krieg, G.M. Garrity, J.T. Staley, D.R. Boone, P. Vos, et al. (Eds.), *Bergey's Manual® of Systematic Bacteriology*, Springer-Verlag, New York pp. 138–143.
- [78] Dewayne Shoemaker, D., Machado, C.A., Molbo, D., Werren, J.H., Windsor, D.M., & Herre, E.A. (2002). The distribution of *Wolbachia* in fig wasps: correlations with host phylogeny, ecology and population structure. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 269 (1506), 2257–2267.
- [79] Lachowska, D., Kajtoch, Ł., & Knutelski, S. (2010). Occurrence of *Wolbachia* in central European weevils: correlations with host systematics, ecology, and biology. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 135 (1), 105–118.
- [80] Enigl, M. & Schausberger, P. (2007). Incidence of the endosymbionts *Wolbachia*, *Cardinium* and *Spiroplasma* in phytoseiid mites and associated prey. *Experimental and Applied Acarology*. 42 75–85.
- [81] Ros, V.I.D., Fleming, V.M., Feil, E.J., & Breeuwer, J.A.J. (2009). How Diverse Is the Genus *Wolbachia* ? Multiple-Gene Sequencing Reveals a Putatively New *Wolbachia* Supergroup Recovered from Spider Mites (Acari: Tetranychidae). *Applied and Environmental Microbiology*. 75 (4), 1036–1043.
- [82] Gotoh, T., Sugawara, J., Noda, H., & Kitashima, Y. (2007). *Wolbachia*-induced cytoplasmic incompatibility in Japanese populations of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*. 42 (1), 1–16.

- [83] Liu, Y., Miao, H., & Hong, X.-Y. (2006). Distribution of the endosymbiotic bacterium *Cardinium* in Chinese populations of the carmine spider mite *Tetranychuscinnabarinus* (Acari: Tetranychidae). *Journal of Applied Entomology*. 130 (9–10), 523–529.
- [84] Ros, V.I., Fleming, V.M., Feil, E.J., & Breeuwer, J.A. (2012). Diversity and recombination in *Wolbachia* and *Cardinium* from Bryobiaspider mites. *BMC Microbiology*. 12 (1), 1–15.
- [85] Suh, E., Sim, C., Park, J.-J., & Cho, K. (2015). Inter-population variation for *Wolbachia* induced reproductive incompatibility in the haplodiploid mite *Tetranychusurticae*. *Experimental and Applied Acarology*. 65 (1), 55–71.
- [86] Xie, R.-R., Chen, X.-L., & Hong, X.-Y. (2011). Variable fitness and reproductive effects of *Wolbachia* infection in populations of the two-spotted spider mite *Tetranychusurticae* Koch in China. *Applied Entomology and Zoology*. 46 (1), 95–102.
- [87] Zhang, Y.-K., Chen, Y.-T., Yang, K., Qiao, G.-X., & Hong, X.-Y. (2016). Screening of spider mites (Acari: Tetranychidae) for reproductive endosymbionts reveals links between co-infection and evolutionary history. *Scientific Reports*. 6 (1), 1–9.
- [88] Zhu, Y.-X., Song, Y.-L., Zhang, Y.-K., Hoffmann, A.A., Zhou, J.-C., Sun, J.-T., et al. (2018). Incidence of Facultative Bacterial Endosymbionts in Spider Mites Associated with Local Environments and Host Plants. *Applied and Environmental Microbiology*. 84 (6), e02546-17.
- [89] Bjørnson, S. (2008). Natural enemies of the convergent lady beetle, *Hippodamia convergens* Guérin-Méneville: their inadvertent importation and potential significance for augmentative biological control. *Biological Control*. 44 (3), 305–311.
- [90] Van der Geest, L.P., Elliot, S.L., Breeuwer, J.A.J., & Beerling, E.A.M. (2000). Diseases of mites. *Experimental & Applied Acarology*. 24, 497–560.
- [91] Johanolowicz, D.L. & Hoy, M.A. (1998). The Manipulation of Arthropod Reproduction by *Wolbachia* Endosymbionts. *The Florida Entomologist*. 81 (3), 310.
- [92] Erban, T., Klimov, P.B., Smrz, J., Phillips, T.W., Nesvorna, M., Kopecky, J., et al. (2016). Populations of Stored Product Mite *Tyrophagusputrescentiae* Differ in Their Bacterial Communities. *Frontiers in Microbiology*. 7, 1046.
- [93] Chao, L.-L., Castillo, C.T., & Shih, C.-M. (2021). Molecular detection and genetic identification of *Wolbachia* endosymbiont in *Rhipicephalus sanguineus* (Acari: Ixodidae) ticks of Taiwan. *Experimental and Applied Acarology*. 83 (1), 115–130.
- [94] Konecka, E., Olszanowski, Z., & Koczura, R. (2019). *Wolbachia* of phylogenetic supergroup E identified in oribatid mite *Gustaviamicrocephala* (Acari: Oribatida). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 135 230–235.
- [95] Kurti, T.J., Munderloh, U.G., Andreadis, T.G., Magnarelli, L.A., & Mather, T.N. (1996). Tick Cell Culture Isolation of an Intracellular Prokaryote from the Tick *Ixodes scapularis*. *Journal of Invertebrate Pathology*. 67 (3), 318–321.
- [96] Nakamura, Y., Kawai, S., Yukuhiro, F., Ito, S., Gotoh, T., Kisimoto, R., et al. (2009). Prevalence of *Cardinium* Bacteria in Planthoppers and Spider Mites and Taxonomic Revision of “*CandidatusCardiniumhertigii*” Based on Detection of a New *Cardinium* Group from Biting Midges. *Applied and Environmental Microbiology*. 75 (21), 6757–6763.
- [97] Weeks, A.R., Velten, R., & Stouthamer, R. (2003). Incidence of a new sexratio-distorting endosymbiotic bacterium among arthropods. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 270(1526), 1857–1865.
- [98] Groot, T.V.M. & Breeuwer, J.A.J. (2006). *Cardinium* symbionts induce haploid thelytoky in most clones of three closely related *Brevipalpus* species. *Experimental & Applied Acarology*. 39 (3), 257–271.
- [99] Chigira, A. & Miura, K. (2005). Detection of ‘*CandidatusCardinium*’ Bacteria from the Haploid Host *Brevipalpus Californicus* (Acari: Tenuipalpidae) and Effect on the Host. *Experimental & Applied Acarology*. 37 (1), 107–116.
- [100] Wu, K. & Hoy, M.A. (2012). *Cardinium* is associated with reproductive incompatibility in the predatory mite *Metaseiulus occidentalis* (Acari: Phytoseiidae). *Journal of Invertebrate Pathology*. 110 (3), 359–365.
- [101] Konecka, E. & Olszanowski, Z. (2019). A new *Cardinium* group of bacteria found in *Achipteriacoleoptrata* (Acari: Oribatida). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 131, 64–71.
- [102] Gasparich, G.E., Whitcomb, R.F., Dodge, D., French, F.E., Glass, J., and Williamson, D.L. (2004). The genus *Spiroplasma* and its non-helical descendants: phylogenetic classification, correlation with phenotype and roots of the *Mycoplasma mycoides* clade. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 54 (3), 893–918.
- [103] Bolaños, L., Servín-Garcidueñas, L., & Martínez-Romero, E. (2015). Arthropod-Spiroplasma relationship in the genomic era. *FEMS Microbiology Ecology*. 91.

- [104] Frago, E., Mala, M., Weldegergis, B.T., Yang, C., McLean, A., Godfray, H.C.J., et al. (2017). Symbionts protect aphids from parasitic wasps by attenuating herbivore-induced plant volatiles. *Nature Communications*. 8 (1), 1860.
- [105] Guidolin, A.S. and Cônsoli, F.L. (2018). Diversity of the most commonly reported facultative symbionts in two closely-related aphids with different host ranges. *Neotropical Entomology*. 47, 440–446.
- [106] Heyworth, E.R. & Ferrari, J. (2015). A facultative endosymbiont in aphids can provide diverse ecological benefits. *Journal of Evolutionary Biology*. 28 (10), 1753–1760.
- [107] Staudacher, H., Schimmel, B.C.J., Lamers, M.M., Wybouw, N., Groot, A.T., & Kant, M.R. (2017). Independent Effects of a Herbivore's Bacterial Symbionts on Its Performance and Induced Plant Defences. *International Journal of Molecular Sciences*. 18 (1), 182.
- [108] Gols, R., Schütte, C., Stouthamer, R., & Dicke, M. (2007). PCR-based identification of the pathogenic bacterium, *Acaricomesphytoseiuli*, in the biological control agent *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *Biological Control*. 42 (3), 316–325.
- [109] Pekas, A., Palevsky, E., Sumner, J.C., Perotti, M.A., Nesvorna, M., & Hubert, J. (2017). Comparison of bacterial microbiota of the predatory mite *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) and its factitious prey *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae). *Scientific Reports*. 7 (1), 2.
- [110] Bonnet, S.I., Binetruy, F., Hernández-Jarguín, A.M., & Duron, O. (2017). The tick microbiome: why non-pathogenic microorganisms matter in tick biology and pathogen transmission. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 7, 236.
- [111] Tully, J.G., Whitcomb, R.F., Rose, D.L., & Bové, J.M. (1982). *Spiroplasmamirum*, a new species from the rabbit tick (*Haemaphysalis leporispalustris*). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 32 (1), 92–100.
- [112] Tully, J.G., Rose, D.L., Yunker, C.E., Cory, J., Whitcomb, R.F., & Williamson, D.L. (1981). Helical mycoplasmas (spiroplasmas) from *Ixodes* ticks. *Science*. 212 (4498), 1043–1045.
- [113] Bell-Sakyi, L., Palomar, A.M., & Kazimirova, M. (2015). Isolation and propagation of a *Spiroplasma* sp. from Slovakian *Ixodes ricinus* ticks in *Ixodes* spp. cell lines. *Ticks and Tick-Borne Diseases*. 6 (5), 601–606.
- [114] Henning, K., Greiner-Fischer, S., Hotzel, H., Ebsen, M., & Theegarten, D. (2006). Isolation of *Spiroplasma* sp. from an *Ixodes* tick. *International Journal of Medical Microbiology*. 296, 157–161.
- [115] Hornok, S., Meli, M.L., Perreten, A., Farkas, R., Willi, B., Beugnet, F., et al. (2010). Molecular investigation of hard ticks (Acari: Ixodidae) and fleas (Siphonaptera: Pulicidae) as potential vectors of rickettsial and mycoplasmal agents. *Veterinary Microbiology*. 140 (1), 98–104.
- [116] Qiu, Y., Nakao, R., Ohnuma, A., Kawamori, F., & Sugimoto, C. (2014). Microbial population analysis of the salivary glands of ticks; a possible strategy for the surveillance of bacterial pathogens. *PloS One*. 9 (8), e103961.
- [117] Taroura, S., Shimada, Y., Sakata, Y., Miyama, T., Hiraoka, H., Watanabe, M., et al. (2005). Detection of DNA of “*Candidatus Mycoplasma haemominutum*” and *Spiroplasma* sp. in Unfed Ticks Collected from Vegetation in Japan. *Journal of Veterinary Medical Science*. 67 (12), 1277–1279.
- [118] Van Oosten, A.R., Duron, O., & Heylen, D.J.A. (2018). Sex ratios of the tick *Ixodes arboricola* are strongly female-biased, but there are no indications of sex-distorting bacteria. *Ticks and Tick-Borne Diseases*. 9 (2), 307–313.
- [119] Jaenike, J., Polak, M., Fiskin, A., Helou, M., & Minhas, M. (2007). Interspecific transmission of endosymbiotic *Spiroplasma* by mites. *Biology Letters*. 3 (1), 23–25.
- [120] Hubert, J., Erban, T., Kamler, M., Kopecky, J., Nesvorna, M., Hejdankova, S., et al. (2015). Bacteria detected in the honeybee parasitic mite *Varroa destructor* collected from beehive winter debris. *Journal of Applied Microbiology*. 119 (3), 640–654.
- [121] Sutcu, M. & Somer, A. (2015). Riketsiyal Enfeksiyonlar. in: pp. 457–465.
- [122] Hosokawa, T., Koga, R., Kikuchi, Y., Meng, X.-Y., & Fukatsu, T. (2010). *Wolbachia* as a bacteriocyte-associated nutritional mutualist. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 107 (2), 769–774.
- [123] Liu, X.-D. & Guo, H.-F. (2019). Importance of endosymbionts *Wolbachia* and *Rickettsia* in insect resistance development. *Current Opinion in Insect Science*. 33, 84–90.
- [124] Perlman, S. J., Hunter, M. S., & Zchori-Fein, E. (2006) The emerging diversity of *Rickettsia*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1598), 2097–2106.
- [125] Stevens, L., Giordano, R., & Fialho, R.F. (2001). Male-killing, nematode infections, bacteriophage infection, and virulence of cytoplasmic bacteria in the genus *Wolbachia*. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 32 (1), 519–545.
- [126] Stouthamer, R., Breeuwer, J.A.J., & Hurst, G.D.D. (1999). *Wolbachia pipientis*: Microbial Manipulator of Arthropod Reproduction. *Annual Review of Microbiology*. 53 (1), 71–102.

- [127] Zélé, F., Santos, I., Olivieri, I., Weill, M., Duron, O., & Magalhães, S. (2018). Endosymbiont diversity and prevalence in herbivorous spider mite populations in South-Western Europe. *FEMS Microbiology Ecology*. 94 (4), fiy015.
- [128] Raoult, D. & Roux, V. (1997). Rickettsioses as paradigms of new or emerging infectious diseases. *Clinical Microbiology Reviews*. 10 (4), 694–719.
- [129] Azad, A.F. & Beard, C.B. (1998). Rickettsial pathogens and their arthropod vectors. *Emerging Infectious Diseases*. 4 (2), 179.



Derleme Makalesi - Review Article

Bina ve İnşaat Teknik Tekstillerinde Güncel Uygulamalar

Current Applications in Building and Construction Technical Textiles

Semiha Eren^{1*}, Aliye Akarsu Özenç²

Geliş / Received: 09/02/2023

Revize / Revised: 29/05/2023

Kabul / Accepted: 30/05/2023

ÖZ

Tekstil endüstrisinin gelişme gösteren kollarından biri teknik tekstil ürünleridir. Teknik tekstiller arasında yer alan bina ve inşaat teknik tekstilleri yapı endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bina ve inşaat teknik tekstillerinin çevre dostu, hafif, yüksek performanslı ve sürdürülebilir çözümler sunması, bu malzemelerin kullanımını gün geçtikçe arttırmaktadır. Bu derleme çalışması ile bina ve inşaat teknik tekstilleri (buildtech) alt başlıklar halinde incelenmiş bu alanda son yıllarda yapılan çalışmalar irdelenmiştir. Artan çevresel ve ekolojik kaygılar ile birlikte bina ve inşaat teknik tekstilinde de sürdürülebilir ve yenilikçi uygulamalar ön plana çıkmış ve bu derleme çalışma içerisinde bu konu ele alınmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlara göre; bina ve inşaat teknik tekstillerinin sağladığı üstün özellikler sayesinde yapı ve inşaat sektöründe kullanımlarının giderek artacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler- İnşaat Teknik Tekstilleri, Yenilikçi Uygulamalar, Yapı Uygulamaları

ABSTRACT

One of the developing branches of the textile industry is technical textile products. Building and construction technical textiles, which are among the technical textiles, are widely used in the building industry. The fact that building and construction technical textiles offer environmentally friendly, lightweight, high-performance, and sustainable solutions increases the use of these materials day by day. With this review, building and construction technical textiles (buildtech) were examined under subtitles and the studies carried out in this field in recent years were examined. Along with increasing environmental and ecological concerns, sustainable and innovative applications in building and construction technical textiles have come to the fore and this subject has been discussed in this review. According to the results obtained in this context; thanks to the superior properties provided by building and construction technical textiles, it is predicted that their use in the building industry will gradually increase.

Keywords- Buildtech, Innovative Applications, Building Applications

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: semihaeren@uludag.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2326-686X>)

Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Görükle Kampüsü, Nilüfer, Bursa, Türkiye

²İletişim: aakarsu@uludag.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5603-5913>)

Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Görükle Kampüsü, Nilüfer, Bursa, Türkiye

I. GİRİŞ

Tekstil materyallerinin bina ve inşaat sektöründe kullanımı çok eskiye dayanmaktadır. Doğal lifler ile başlayan bu süreç sentetik liflerin kullanımı ile devam etmiştir ve kullanılan ürünler zamanla gelişim göstermiştir. Tekstil liflerinin kimyasal etkilere karşı nispeten iyi stabilite, hafiflikleri, ekonomik olmaları, işlenebilirlikleri, UV radyasyonuna dirençleri, nem kararlılıkları, çevresel etkileri, depreme karşı güvenli olmaları, estetik açıdan göze hitap etmeleri gibi olumlu özellikleri sebebiyle lifleri; kompozit, beton, ahşap ve çelik yapılarda takviye elemanı olarak kullanılabilme olanağı sağlamaktadır [1]. Yapı sektöründe kullanılan tekstil materyallerine bina ve inşaat teknik tekstilleri denmektedir, bu ürünler teknik tekstillerin bir alt grubu olup, geleneksel yapı malzemelerine alternatif olarak kullanımı hakkında yapılan çalışmalarda son yıllarda artış gözlemlenmiştir. İnşaat ve yapılarda tekstil ürününün kullanımının sistem performansını ve kullanım ömrünü arttırması; tasarımlar ve seçim metodolojilerinde esneklik, dayanıklılık, maliyet ve çevresel açıdan sağladığı olanaklar; karbon ayak izinin azaltılması gibi bazı avantajlar mevcuttur [2].

Avrupa Yeşil Mutabakatı'na göre hammadde su ve enerji tüketiminin en fazla olduğu sektörlerden biri inşaat sektörüdür. Artan iklim krizi, araştırmacıları bu alanda çalışmalar yapmaya yeşil ve döngüsel ekonomiye katkı sağlamaya yönlendirmiştir [3]. Bu kapsamda teknik tekstillerin inşaat sektöründe kullanımı karbon ayak izinin azaltılmasında, enerji verimliliğinin artmasında ve sürdürülebilirliğin sağlanmasında katkı sağlayabilir.

Teknik tekstiller ve kullanımları ile ilgili literatürde pek çok derleme çalışması mevcuttur ancak bina ve inşaat teknik tekstillerinin güncel ve sürdürülebilir uygulamalarına ilişkin literatürde çalışmalara rastlanmamıştır. Bu derleme çalışması kapsamında 1994-2022 arasında yapılan çalışmalara odaklanılmıştır. Bina ve inşaat teknik tekstilleri alt başlık olarak mimari tekstiller, duvar kaplamaları ve yalıtım ürünleri ve tekstil takviyeli betonlar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu kapsamda II. bölümde bina ve inşaat tekstillerinin alt başlıkları anlatılmış ve bu alanda yapılan güncel çalışmalara yer verilmiştir. Çevresel ve ekolojik kaygıların arttığı günümüzde, her alanda olduğu gibi inşaat sektöründe de sürdürülebilirlik kavramı ön plandadır. Bu derleme çalışmasının III. bölümünde sürdürülebilir bina ve inşaat tekstillerine yer verilmiş ve güncel çalışmalar örneklenmiştir. Mevcut çalışmaya ek olarak bina ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan ve yine bir teknik tekstil grubu olan geotekstillerden IV. bölümde bahsedilmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların uygulanabilirliğinin araştırılması için pek çok yöntem mevcut olup V. bölümde bina ve inşaat teknik tekstillerine uygulanan bazı test metodlarından bahsedilmiştir.

II. İNŞAAT TEKNİK TEKSTİLLERİ

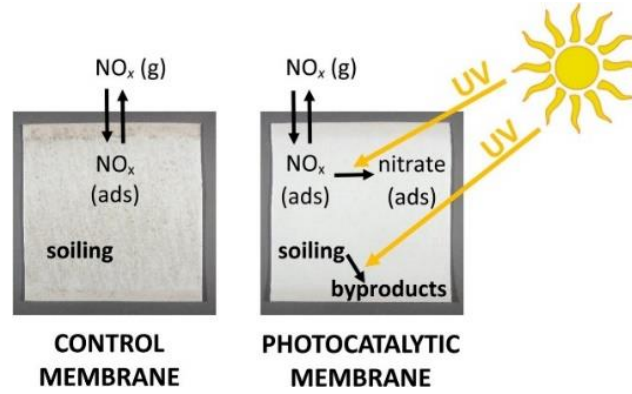
Giriş bölümünde belirtildiği gibi bina ve inşaat teknik tekstilleri kendi içinde üç alt gruba ayrılmıştır. Mimari tekstiller çeşitli sanat yapılarının örtünmesi ve korunması için tercih edilen tekstil materyalleridir. Estetik ve kolay şekillendirilebilir olması, taşıyıcı sisteme çok fazla yük etkisi olmaması sebebiyle pek çok alanda tercih edilmektedir. Yalıtım malzemeleri yapı sektöründe olarak uzun zamandır kullanılmaktadır. Yalıtım malzemeleri ses, ısı ve su yalıtımı için tercih edilmektedir. Bu kapsamda çatı, iç duvar döşeme veya tavanların yalıtımı amacıyla pek çok yalıtım malzemesi geliştirilmiştir. Tekstil takviyeli betonlar yapıların güçlendirilmesi ve servis ömürlerini uzatmak amacıyla tercih edilmektedir. Bu bölümde bina ve inşaat teknik tekstilleri alt grupları incelenmiş ve bu alanda yapılan çalışmalar örneklendirilmiştir.

A. Mimari Tekstiller

Mimari asma germe membran sistemleri hem taşıyıcı hem de dış etkenlere karşı dirençli sistemlerdir aynı zamanda estetik açıdan da göze hitap ederler. Günümüzde yüzme havuzları, spor salonları, depolar, askeri araçlar ve teçhizat kapsamı ve üretim veya montaj hatları gibi çeşitli çatı uygulamaları için membran çatı kullanılmaktadır. Bunlar, geçici veya uzun vadeli inşaat yapılarının ihtiyaçlarını karşılamak için gayet iyi seçeneklerdir [4]. Mimari membran kullanımıyla alakalı literatürde birçok çalışma mevcuttur. Hu ve diğ. etilen tetrafloroetilen (ETFE) yastık çatıya entegre fotovoltaik/termal sistemin çalışma performansını incelemişler ve deneysel sonuçlarda sistemin sorunsuz ve düzgün bir şekilde çalıştığını bildirmişlerdir [5]. Bu sistemlerin çalışmasında seçilecek malzeme ve seçilen sistemin önemi çok büyüktür. Paech 2016'da yaptığı çalışmasında malzeme seçiminin öneminden ve yaygın kullanılan malzeme örneklerinden bahsetmiştir [6]. Sao ve diğ. polivinilklorür (PVC) ile kaplanmış polyester elyaf ile üretilmiş ve politetrafloroetilen (PTFE) ile kaplanmış cam elyaf ile üretilmiş iki mimari membranın dayanım özelliklerini araştırmışlardır [7]. Polyester/PVC membranların mekanik performansı değişmezken, cam elyafı/PTFE membranın çekme mukavemeti özelliklerinde bir azalma gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Dayanım özellikleri ile ilgili bir başka çalışma örneği Shi ve diğ. tarafından yayınlanan çalışma da araştırılmıştır [8]. Poliviniliden florür (PVDF) kaplı polyester membran malzemesinin çift eksenli özellikleri, gerilim-gerinim ve kırılma kriterleri açısından araştırmışlardır. Tang ve diğ. sundukları çalışmalarında fotokatalitik özelliğe sahip ve sahip olmayan iki mimari membranı üç aylık periyotta değerlendirmişlerdir [9]. Deneysel çalışmanın sonucu olarak fotokatalitik malzemenin kendi kendini temizleme özelliği gösterdiğini bildirmişlerdir (Şekil 1). Yaygın olarak kullanılan tekstil materyalleri ve bazı özellikleri aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Mimari membran olarak kullanılan yaygın tekstil materyalleri ve bazı özellikleri [10]

Materyal	Çekme Mukavemeti	Yangın Sınıflandırması	Kimyasal / Biyolojik Direnç	Işık Geçirgenliği	Şeffaflık
PVC/Polyester-kumaş (Tip V)	Yüksek	B2 veya B3	Orta	%10'a kadar	Hayır
Silikon/Cam-kumaş (Tip G VII)	Yüksek	B1	Orta	%25'e kadar	Hayır
PTFE/Cam-kumaş (Tip G VII)	Yüksek	A2 veya B1	Yüksek	%14'e kadar	Hayır
ETFE/PTFE	Orta	B1	Yüksek	%40-85'e kadar	Hayır
ETFE-folyo (250 µm)	Düşük	B1	Yüksek	%90'a kadar	Evet



Şekil 1. Fotokatalitik Membran Çalışma Prensibi [9]

B. Yalıtım Malzemeleri

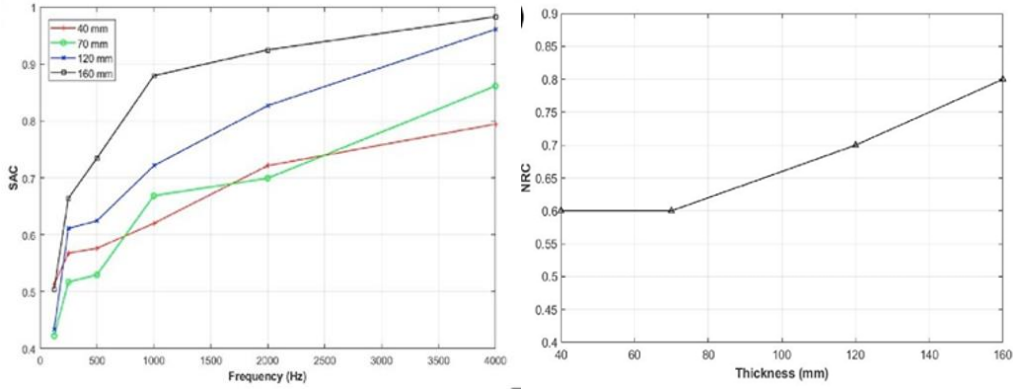
Duvar kaplamaları, hava sızma direnci, su girişine karşı bir bariyer ve buhar geçirgenliği sağlayan yüksek mühendislik ürünü tekstil malzemeleridir [11]. Gözenekli yapıya sahip tekstil fiberleri ses enerjisini emebilir ve ses emici malzeme olarak kullanılabilir [12]. Ses emilimini etkileyebilecek bazı önemli parametreler liflerin çapı, uzunluğu ve düzenliliğidir. Yüksek yoğunluğa sahip tekstil lifleri, orta ile yüksek frekans aralıklarında ses emme değerini artırabilmektedir [13,14]. Bina ve inşaat tekstillerinin, akustik tekstil malzemesi olarak iç mekân tasarımlarında kullanımı mevcuttur. Örneğin müzik salonu gibi mekanlarda kullanılan tekstil yüzeylerden oluşturulmuş paneller reverberasyon süresini azaltacağından yankılanmayı önleyecektir [15]. Yaygın olarak kullanılan yapı yalıtım malzemeleri, cam elyafı, mineral yün ve plastik gibi sentetik malzemelerden üretilmektedir [16].

Isı yalıtımı için tekstil ürünleri tercih edilmektedir. Nonwoven (dokusuz) tekniklerle üretilen lifli yalıtım malzemeleri, konvektif ısı transferini engellemek için ideal olan sıkışmış hava katmanları ile yeterli küçük boşluklara sahiptir [17]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda tekstil atıkları kullanarak üretilen yalıtım panelleri hakkında literatürde birçok çalışma mevcuttur. Briga ve diğ. atık dokuma kumaş üzerine, Hadded ve diğ. geri dönüştürülmüş tekstil atıklarının, ısı özelliklerinin incelenmesi kapsamında çalışma yapmışlardır [18,19]. İki çalışma da tekstil atık malzemelerinin ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliğinin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Dissanayke ve diğ. sentetik bir lif olan naylon Spandex ve poliüretanın ısı yalıtımlarını incelemek üzere bir deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir [20]. Elde edilen verilerde en iyi yalıtımı sağlayan kombinasyonun %60 naylon/Spandex kumaş parçaları ile %40 poliüretan parçaları karıştırılmasıyla gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Olumlu ekolojik ve sağlık özelliklerinden dolayı yün ve akrilik atıkları sık çalışılan tekstil materyallerinden bazılarıdır. Literatürde atık tekstil ürünlerinin yalıtım malzemesi olarak kullanımının incelendiği çalışmalar mevcuttur. Sonuçlar, malzemenin geleneksel yalıtım malzemeleri ile kıyaslanabilir olduğu yönündedir [21,22]. Gounni ve diğ. tarafından yürütülen çalışmada yün ve akrilik atıklarından üretilen yalıtım malzemelerinin gerçek iklim koşullarında durumları gözlenerek yaşam döngüsü maliyet analizi yapılmıştır [23]. Deneysel çalışmanın sonucunda elde edilen bulgular, geliştirilen ısı yalıtım malzemesinin başlangıç maliyetini fazla olmaması durumunda rekabetçi bir çözüm olabileceğini bildirmişlerdir.

Tablo 2. Isı yalıtımında yaygın olarak kullanılan tekstil materyallerinin ısı özellikleri [20]

Materiyal	Yoğunluk (kg/ m ³)	Isıl İletkenlik (W/mK)
Yün	23	0.038
Kenevir	25-38	0.039-0.040
Cam yünü	20	0.035
Genişletilmiş polistiren (EPS)	15-30	0.034-0.038
Ekstrüde polistiren (XPS)	20-40	0.033-0.035

Son yıllarda ses yalıtımı konusunda atık tekstil materyalleri hakkında çalışmalara çokça yer verilmiştir. Trajkovic ve diğ. polyester atıklarını kullanarak, Rubino ve diğ. yün atıklarını kullanarak ürettikleri yalıtım panellerinin ses yutma özelliklerinin piyasada mevcut bulunan geleneksel yalıtım ürünleri ile rekabet edebileceklerini bildirmişlerdir [24,25]. Dissanyake ve diğ. yaptıkları çalışmalarında pamuk, polyester atıklarını doğal kauçuk matrisi ile sıkıştırarak kalıplamışlardır. Elde edilen kompozitin ses yalıtım özelliklerinin ticari ürünlerle rekabet edebileceğini ayrıca panel kalınlığı ile ses yalıtım özelliğinin doğru orantılı olduğunu belirtmişlerdir [26].



Şekil 2. Dissanyake ve diğ. tarafından yapılan çalışmaya ait görsel [25].

C. Tekstil Takviyeli Betonlar

Mevcut beton binaların güçlendirilmesi, binaların servis ömrünün uzatılması için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri de FRP (Fiber Reinforced Polymers) sistemleridir. Bu yöntemde FRP malzemeleri beton yapılarda çubuk, kuru elyaf ya da levha şeklinde kullanılır [27]. Taşıyıcı elemanların eğilme mukavemetini arttırmak ve ek gerilme takviyesi sağlamak için FRP kumaşlar yapısal elemanların gerilme olan yüzüne sarılır. Betonda kullanılan çeliğin zamanla korozyona uğrayıp aşınması sebebiyle son yıllarda tekstil takviyeli betonlar geliştirilmiştir. FRP'de takviye olarak çeşitli lifler kullanılabilir çelik lifi, cam lifi, bazalt lifi, polivinil alkol (PVA) lifi, polipropilen (PP) lifi ve doğal lifler bunlara örnektir [28]. Lif takviyesi, çatlaklar arasında köprü oluşturarak betonun davranışını iyileştirir. Lif takviyeli betonun özellikleri, eklenen elyafın türü, miktarı ve boyutlarının yanı sıra çimento esaslı matrisin ve elyaf-matris arayüzünün özelliklerine bağlıdır [29]. Tablo 3'te takviye elemanı olarak kullanılan bazı liflerin mekanik özellikleri verilmiştir [28,30].

Tablo 3. Bazı Lif Çeşitleri ve Mekanik Özellikleri [28,30]

Elyaf Çeşidi	Özgül Ağırlık	Young Modülü (GPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama (%)
Karbon Elyaf	1.8	159-965	1550-6960	2.5-3.2
Çelik Elyaf	7.8	200	200-2760	0.5-35
Cam Elyaf	2.6	70-80	3400	2-3.5
Bazalt Elyaf	2.8	89	4100-4800	2.56
Polipropilen Elyaf	0.9	3.45	552-690	25

Kullanılan her bir takviye elemanının kendi karakteristik özelliği vardır ve bu özellikler göz önüne alınarak uygun tasarım yapılabilir. Örneğin karbon ve cam filament iplikler kullanılarak korozyona dayanıklı, daha uzun ömürlü, mukavemeti yüksek yapı malzemeleri elde edilmektedir. Bazalt lifi, karbon lifinden daha fazla

kırılma şekil değiştirmesine sahip olması ile beraber kimyasal etkiye, darbe yüküne ve yangına karşı iyi direnç gösterdiği bilinmektedir [30]. Cam lifi ve bazalt lifi, alkali bir ortamda bozunma gösterir, bu durum uzun vadeli mukavemetlerinin kısa vadeli mukavemetlerine oranla düşük olacağı anlamına gelir [31]. Lif takviyesinin beton karışımının içerisine eklenerek yapılan çalışmalar mevcuttur. Lif ilavesi ile betonun dayanımını arttırmak amaçlanmaktadır. Mohod ve diğ. çeşitli oranlarda polipropilen liflerini betona ekleyerek farklı kür koşulları altında betonun basınç, eğilme dayanımlarını incelemiştir. Elde edilen sonuçlarda basınç, eğilme dayanımlarında kayda değer bir artış gözlemlemişler ve bu konuda daha çok araştırma yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir [32]. Qin ve diğ tarafından polipropilen lifi ile yapılan bir çalışmada lif takviyeli ve kumaş takviyeli betonun basınç davranışları ve enerji emme özellikleri incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda atık lif ilavesinin betonun sıkıştırma performansını iyileştirebileceğini belirtilmiştir [33].

Lif takviyeli betonların yanı sıra kumaş formunda karışımların yapıldığı çalışmalar da mevcuttur. Chen ve diğ. bazalt elyaf tekstil ve mühendislik çimentolu kompozitler ile birleştirilmiş kompozit takviye tabakası ile güçlendirilmiş beton kolonların basınç davranışı üzerine çalışmışlar ve beton özelliklerini kıyaslamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre lif takviyesinin, çimentolu karışımın dayanım ve sünekliğini arttırdığı beyan edilmiştir [34].

III. SÜRDÜRÜLEBİLİR İNŞAAT TEKNİK TEKSTİLLERİ

Yapıların inşası sırasında sürdürülebilir veya geri dönüştürülebilir malzeme kullanmak CO₂ emisyonunu azaltmak için kullanılan önemli tekniklerden biridir [35]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda pirinç kabuğu külü dikkat çeken bir malzeme olarak çimento ve beton sektöründe kullanılmaya başlanmıştır [36,37]. Puzolanik bir malzeme olan pirinç kabuğu külünün çimento ve betonda kullanımı ile betonun geçirimsizliğinin azaltılması, kimyasal etkilere karşı direnç, alkali-silika reaksiyonuna karşı direnç, işlenebilirlik özelliklerinde iyileşme ve dolayısı ile betonun dayanım ve dayanıklılığında iyileşme gibi avantajlar sağlanmaktadır [38,39]. Dayanıklılığı nedeniyle hindistan cevizi kabuğu, yalıtım levhaları ve çatı kaplama levhaları olarak üretilebilir [40]. Hindistan cevizi lifi kullanılan paneller ve üretilen rulolar piyasada mevcuttur [41]. Sürdürülebilirlik esas alınarak yapılan bir başka çalışma da Muthuraj ve diğ., 2019 yılında yayınladıkları biyolojik olarak parçalanabilen poli(bütülen adipat-kotereftalat)/poli(laktik asit) (PBAT) matrisli pirinç kabuğu, buğday kabuğu, ağaç lifleri ve tekstil atık lifleri takviyeli kompozit çalışmasıdır [42]. Üretilen biyobozunur kompozitlerin, iç mekân bina yalıtım uygulamaları için uygun olup olmadığını araştırmışlardır. Sonuçlara göre kompozitlerin yalıtım gereksinimlerinin çoğunu karşılar şekilde olduğunu belirtmişlerdir. Antolinc ve Filipic tarafından yapılan bir çalışmada nonwoven (dokusuz) polyster atıkları presle sıkıştırılarak yalıtım levhası haline getirilmiş ve termal özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda yalıtım panelinin yapılarında yeterli ısı yalıtımı sağlayan sürdürülebilir bir çözüm olduğu belirtilmiştir [43]. Jaskula ve diğ., tarafından yapılan bir çalışmada asfalt betonuna polimerik lifler dahil edilip, karışımın düşük ve yüksek sıcaklıklardaki davranışları incelenmiş ve lif takviyesinin düşük sıcaklıkta meydana gelen çatlama eğilme dayanımını ve kırılma enerjisini artırdığı ifade edilmiştir [44]. Yapılan bir başka deneysel çalışmada kenevir lifi takviyeli beton karışımının mekanik özellikleri incelenmiş ve kenevir lifi ilavesinin sünekliği arttırdığı, kullanılan agrega miktarının azaldığı bildirilmiştir [45].

IV. GEOTEKSTİLLER

Geotekstil kelimesi jeo ve tekstil olarak iki terime ayrılmaktadır, Geo yunanca da toprak anlamına gelmektedir bu nedenle geotekstil geçirgen toprak şeklinde tanımlanmaktadır [46]. Geotekstil malzeme seçimi yapılırken göz önünde bulundurulması gereken önemli başlıklar; projenin fiili durumuna uygunluğu sahadaki performansı ve üretim maliyetleridir. Geotekstiller üretim yöntemine göre üç sınıfa ayrılmaktadır, bunlar dokunmuş (woven) dokusuz (nonwoven) ve örme ürünlerdir. Zaman ve diğ tarafından yapılan bir çalışmada fitilli, fitilsiz dokuma geotekstil ve nonwoven geotekstiller karşılaştırılmış elde edilen sonuçlarda fitil dokuma geotekstilin diğer geotekstillere göre suyu daha hızlı emdiğini belirtmişlerdir [47]. Geotekstillerin ayırma, drenaj, filtrasyon ve güçlendirme olmak üzere dört temel işlevi vardır [48]. Günümüzde en çok kullanılan geotekstiller sentetik elyaflardan yapılmaktadır. Bunlardan başlıcaları polipropilen (PP), polietilentetraflor (PET), poliamid (PA) ve polietilendir (PE) [49]. Doğal lifler bu alanda en çok erozyon kontrolünde kullanılmaktadır. Su emme kapasitesinin fazla olması ve biyobozunur olma özellikleri bu lifleri ön plana çıkarmaktadır [50]. Methacanon ve diğ., tarafından yapılan bir çalışmada su sümbülü, kamyş, sisal ve roselle geotekstil hammadresi olarak kullanılması değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlarda sisal ve roselle lifinin toprak güçlendirme amacıyla dokuma geotekstiller için uygun olduğu; kamyş ve su sümbülünün toprak erozyonu için kullanımının uygun olduğu ifade edilmiştir [51]. Geotekstil örtüler pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Geotekstil borular gelişmekte olan teknolojilerden biridir; yapılan bir çalışmada geotekstil borulu ve borusuz atık barajlarının stabiliteyi arttırdığı incelenmiş ve geotekstil borulu barajın stabilitesinin daha iyi olduğu beyan edilmiştir [52].

V. BİNA VE İNŞAAT YAPILARINDA KULLANILAN TEKSTİL LİFLERİNE UYGULANAN BAZI TEST METOTLARI

Bina ve inşaat yapılarında kullanılan tekstil ürünlerine ilişkin bazı bilgiler yukarıda verilmiştir. Bu uygulamaların işlevselliğini karar verebilmek amacıyla yapılan bazı test metotları mevcuttur. Test sonuçlarına bakılarak gerçekleştirilecek uygulama hakkında karar verilebilir.

İnşaat teknik tekstilleri yukarıda anlatıldığı gibi mimari amaçlı, yalıtım amaçlı ya da beton takviyesi olarak kullanılabilir. Örneğin yalıtım amaçlı kullanılan tekstil ürünlerine uygulanan testlere bakıldığında araştırmacıların akustik performans ve termal yalıtım konuları üzerinde durduğu görülmüştür. Akustik özelliklerin belirlenmesinde birçok test yöntemi mevcuttur. Bunlardan başlıcaları; ISO 10,534-2 ve ASTM C423-17 dir. Ses absorpsiyon özellikleri; gürültü azaltma katsayısı (NRC) ve ses absorpsiyon ortalaması (SAA) dahil olmak üzere tek bir derecelendirme sistemi kullanılarak da ölçülebilir [53,54,55]. Bir malzemenin ısı yalıtım özelliği ise genellikle ısı iletkenlik (λ) veya ısı geçirgenlik (U-Değeri) ile ölçülür. Isıl iletkenlik, sıcaklık gradyanının bir sonucu olarak birim kesit alanının yüzeyine dik bir yönde bir malzemenin birim uzunluğundaki ısı transfer hızı olarak tanımlanabilir. Isıl iletkenlik, uluslararası ASTM C518 standardı uygulanarak ölçülebilir ve ısı geçirgenlik, ISO 6946 uygulanarak tahmin edilebilir [56,57].

Tekstil takviyeli betonların üstün mekanik performansı, betonarme veya diğer geleneksel malzemelerden yapılmış yapı elemanlarının güçlendirilmesi ve onarımında kullanılmaktadır. Tekstil takviyeli betonlara bakıldığında uygulanan test metotları ile malzemenin elastik modülü, tokluğu, geçirgenliği gibi temel özellikleri hakkında bilgi sahibi olunabilir. Uygulanan test metotlarının başında basınç deneyi gelir. Beton basınç deneyi TS EN 12390-3 standardından yararlanılarak ölçülür. Bu standart baz alınarak betonun basınç dayanımının ve gerilme deformasyon ilişkisinin belirlenebilir [58]. Bir başka önemli test olan eğilme dayanımı ise TS EN 12390-5 standardına göre belirlenebilir [59]. Üç noktalı eğilme deneyi eğilme deneylerinde kullanılan en yaygın testlerden biridir. Deneyin temel prensibi, deneyde kullanılacak malzemeyi "basit kiriş" modeli kabulüne dayanır. Su geçirgenliği çoklu çatlakların olduğu beton yüzeylerde uygulanan testlerden biridir. Yapılan bir araştırmada çoklu katmanlara sahip tekstil ile güçlendirilmiş betona geçirgenlik testi yapılmış ve tekstil yüzeylerinin su geçirgenlik üzerinde etkisi olduğu belirtilmiştir [60]. Elyaf takviyeli betonların yangına karşı dayanımları son yıllarda incelenen önemli konu başlıklarındandır. Farklı elyaf türleri, elyaf miktarları ve çimentolu matris tasarımları dayanımı etkileyen önemli faktörlerdendir [28]. ISO-834 standartları izlenerek yangın dayanımları hakkında fikir sahibi olunabileceği bildirilmiştir [61].

VI. SONUÇLAR

Yapılan bir araştırma da teknik tekstillere olan talebin 2027 sonunda 57 milyon tonluk bir büyüme göstereceği; ön görülen dönem içinde gerçekleşecek olan büyümelerde öne çıkanlar arasında bina ve inşaat teknik tekstillerinin olduğu vurgulanmıştır [62]. Yapılan çalışmalar; teknik tekstil ürünlerinin üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri sektörde pazar paylarının artabileceğini; ürünlerin bina ve inşaat yapılarında kullanılması sektöre yenilikçi çözüm imkanları kazandırabileceğini göstermektedir. Bina ve inşaat teknik tekstillerindeki mevcut malzeme çeşitliliği giderek artmasıyla birlikte yenilikçi, çevreci ve sürdürülebilir yaklaşımlar sağlayarak sorunların çözülmesinde aktif rol oynamaktadır. Teknik tekstil ürünlerinin çeşitliliği ve artan kullanımı ile servis ömrü uzun, dayanıklı ve doğaya saygılı uygulamalar yapılmaya devam edilecektir. Bu derleme makale ile bina ve inşaat teknik tekstilleri sınıflandırılmış, alt sınıflar hakkında genel bilgiler verilerek bu alanlara ait güncel çalışmalara yer verilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Baier, B. (2010). Technical characteristics and requirements of textiles used for building and construction, *Textiles, Polymers and Composites for Buildings* University of Duisburg-Essen, Germany, Woodhead Publishing Limited, 49-67.
- [2] Tabor, J. & Tushar, G. (2019). *Building and Construction Textiles*. High Perform. Tech. Text.
- [3] Ecer, K., Güner, O., & Çetin, M. (2021). Avrupa yeşil mutabakatı ve Türkiye ekonomisinin uyum politikaları. *İşletme ve iktisat çalışmaları dergisi*, 9(2), 125-144.
- [4] Krishna, P. (2020). An Engineer—Academic Looks Back. *In The Mind of an Engineer: Volume 2* 239-245 Springer, Singapore.
- [5] Hu, J., Chen, W., Yang, D., Zhao, B., Song, H. & Ge, B. (2019). Energy performance of ETFE cushion roof integrated photovoltaic/thermal system on hot and cold days. *Applied energy*, 173, 40-51.
- [6] Paech, C. (2016). Structural membranes used in modern building facades. *Procedia Engineering*, 155, 61-70.
- [7] São João, L., Carvalho, R. & Fanguero, R. (2016). A study on the durability properties of textile membranes for architectural purposes. *Procedia Engineering*, 155, 230-237.

- [8] Shi, T., Hu, J., Chen, W. & Gao, C. (2020). Biaxial tensile behavior and strength of architectural fabric membranes. *Polymer Testing*, 82, 106230.
- [9] Tang, X., Rosseler, O., Chen, S., de l'Aulnoit, S. H., Lussier, M. J., Zhang, J. & Destailats, H. (2021). Self-cleaning and de-pollution efficacies of photocatalytic architectural membranes. *Applied Catalysis B: Environmental*, 281, 119260.
- [10] Hu, J., Chen, W., Qu, Y. & Yang, D. (2020). Safety and serviceability of membrane buildings: A critical review on architectural, material and structural performance. *Engineering Structures*, 210, 110292.
- [11] Sheth, P. J., U.S. (1990). Patent No. 4,929,303 Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [12] Patnaik, A. (2016). Materials used for acoustic textiles. In *Acoustic Textiles*. 73-92. Springer, Singapore.
- [13] Koizumi, T., Tsujiuchi, N., Adachi, A. (2002). The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers. *WIT Transactions on the Built Environment*, 59, 157-166.
- [14] Islam, S. & Bhat, G. (2019). Environmentally-friendly thermal and acoustic insulation materials from recycled textiles. *Journal of environmental management*, 251, 109536.
- [15] Gürani Y. & Doba Kadem F. (2018). Tekstil yüzeylerinin iç mekân tasarımında akustik olarak kullanımı. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi* 5(6), 48-55.
- [16] Patnaik, A., Mvubu, M., Muniyasamy, S., Botha, A. & Anandjiwala, R. D. (2015). Thermal and sound insulation materials from waste wool and recycled polyester fibers and their biodegradation studies. *Energy and Buildings*, 92, 161-169.
- [17] Woo, S. S., Shalev, I. & Barker, R. L. (1994). Heat and moisture transfer through nonwoven fabrics: Part I: Heat transfer. *Textile Research Journal*, 64(3), 149-162.
- [18] Briga-Sa, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H. & Paiva, A. (2013). Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. *Construction and Building Materials*, 38, 155-160.
- [19] Hadded, A., Benltoufa, S., Fayala, F. & Jemni, A. (2016). Thermo physical characterisation of recycled textile materials used for building insulating. *Journal of building engineering*, 5, 34-40.
- [20] Dissanayake, D. G. K., Weerasinghe, D. U., Wijesinghe, K. A. P. & Kalpage, K. M. D. M. P. (2018). Developing a compression moulded thermal insulation panel using postindustrial textile waste. *Waste Management*, 79, 356-361.
- [21] El Wazna, M., El Fatihi, M., El Bouari, A. & Cherkaoui, O. (2017). Thermo physical characterization of sustainable insulation materials made from textile waste. *Journal of Building Engineering*, 12, 196-201.
- [22] Wazna, M. E., Gounni, A., Bouari, A. E., Alami, M. E. & Cherkaoui, O. (2019). Development, characterization and thermal performance of insulating nonwoven fabrics made from textile waste. *Journal of Industrial Textiles*, 48(7), 1167-1183.
- [23] Gounni, A., Mabrouk, M. T., El Wazna, M., Kheiri, A., El Alami, M., El Bouari, A., Cherkaoui, O. (2019). Thermal and economic evaluation of new insulation materials for building envelope based on textile waste. *Applied Thermal Engineering*, 149, 475-483.
- [24] Trajković, D., Jordeva, S., Tomovska, E. & Zafirova, K. (2017). Polyester apparel cutting waste as insulation material. *The Journal of The Textile Institute*, 108(7), 1238-1245.
- [25] Rubino, C., Bonet Aracil, M., Gisbert-Payá, J., Liuzzi, S., Stefanizzi, P., Zamorano Cantó, M., & Martellotta, F. (2019). Composite eco-friendly sound absorbing materials made of recycled textile waste and biopolymers. *Materials*, 12(23), 4020.
- [26] Dissanayake, D. G. K., Weerasinghe, D. U., Thebuwanage, L. M. & Bandara, U. A. A. N. (2021). An environmentally friendly sound insulation material from post-industrial textile waste and natural rubber. *Journal of Building Engineering*, 33, 101606.
- [27] Siddika, A., Al Mamun, M. A., Ferdous, W. & Alyousef, R. (2020). Performances, challenges and opportunities in strengthening reinforced concrete structures by using FRPs—A state-of-the-art review. *Engineering Failure Analysis*, 111, 104480.
- [28] Wu, H., Lin, X. & Zhou, A. (2020). A review of mechanical properties of fibre reinforced concrete at elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*, 135, 106117.
- [29] Mehta, P. K. & Monteiro, P. J. (2014). *Concrete: microstructure, properties and materials*. McGraw-Hill Education.
- [30] Kızılkant, A. B., Kabay, N., Akyüncü, V., Chowdhury, S., Akça, A. H. (2015). Mechanical properties and fracture behavior of basalt and glass fiber reinforced concrete: An experimental study. *Construction and Building Materials*, 100, 218-224.
- [31] Sim, J. & Park, C. (2005). Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. *Composites Part B: Engineering*, 36(6-7), 504-512.
- [32] Mohod, M. V. (2015). Performance of polypropylene fibre reinforced concrete. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 12(1), 28-36.

- [33] Qin, Y., Zhang, X., Chai, J., Xu, Z. & Li, S. (2019). Experimental study of compressive behavior of polypropylene-fiber-reinforced and polypropylene-fiber-fabric-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 194, 216-225.
- [34] Chen, X., Zhuge, Y., Al-Gemeel, A. N. & Xiong, Z. (2021). Compressive behaviour of concrete column confined with basalt textile reinforced ECC. *Engineering Structures*, 243, 112651.
- [35] Meggers, F., Leibundgut, H., Kennedy, S., Qin, M., Schlaich, M., Sobek, W. & Shukuya, M. (2012). Reduce CO₂ from buildings with technology to zero emissions. *Sustainable Cities and Society*, 2(1), 29-36.
- [36] Zhu, H., Liang, G., Zhang, Z., Wu, Q. & Du, J. (2019). Partial replacement of metakaolin with thermally treated rice husk ash in metakaolin-based geopolymer. *Construction and Building Materials*, 221, 527-538.
- [37] Darsanasiri, A. G. N. D., Matalakah, F., Ramli, S., Al-Jalode, K., Balachandra, A. & Soroushian, P. (2018). Ternary alkali aluminosilicate cement based on rice husk ash, slag and coal fly ash. *Journal of Building Engineering*, 19, 36-41.
- [38] Yıldız, S., Balaydın, İ. & Ulucan, Z. Ç. (2007). Pirinç kabuğu külünün beton dayanımına etkisi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), 85-91.
- [39] Hwang, C. L. & Wu, D. S. (1989). Properties of cement paste containing rice husk ash. *Special Publication*, 114, 733-762.
- [40] Attmann, O. (2010). *Green architecture: advanced technologies and materials*. McGraw-Hill Education.
- [41] Arslan, M. A. & Aktaş, M. (2018). İnşaat Sektöründe Kullanılan Yalıtım Malzemelerinin Isı ve Ses Yalıtımı Açısından Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(2), 299-320.
- [42] Muthuraj, R., Lacoste, C., Lacroix, P. & Bergeret, A. (2019). Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation. *Industrial Crops and Products*, 135, 238-245.
- [43] Antolinc, D., & Filipič, K. E. (2021). Recycling of nonwoven polyethylene terephthalate textile into thermal and acoustic insulation for more sustainable buildings. *Polymers*, 13(18), 3090.
- [44] Jaskuła, P., Stienss, M., & Szydłowski, C. (2017). Effect of polymer fibres reinforcement on selected properties of asphalt mixtures. *Procedia Engineering*, 172, 441-448.
- [45] Awwad, E., Mabsout, M., Hamad, B., Farran, M. T., & Khatib, H. (2012). Studies on fiber-reinforced concrete using industrial hemp fibers. *Construction and Building Materials*, 35, 710-717.
- [46] Horrocks, A. R. & Anand, S. C. (Eds.), "Handbook of technical textiles", Elsevier, (2000).
- [47] Zaman, M. W., Han, J., & Zhang, X. (2022). Evaluating wettability of geotextiles with contact angles. *Geotextiles and Geomembranes*, 50(4), 825-833.
- [48] Wu, H., Yao, C., Li, C., Miao, M., Zhong, Y., Lu, Y. & Liu, T. (2020). Review of application and innovation of geotextiles in geotechnical engineering, *Materials*, 13(7), 1774.
- [49] Wiewel, B. V., & Lamoree, M. (2016). Geotextile composition, application and ecotoxicology—A review. *Journal of Hazardous Materials*, 317, 640-655.
- [50] Valle, S. B., Albay, R. D., & Montilla, A. M. (2019, April). Bambusa blumeana fiber as erosion control geotextile on steep slopes. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 513, No. 1, p. 012030). IOP Publishing.
- [51] Methacanon, P., Weerawatsophon, U., Sumransin, N., Prahsarn, C., & Bergado, D. T. (2010). Properties and potential application of the selected natural fibers as limited life geotextiles. *Carbohydrate Polymers*, 82(4), 1090-1096.
- [52] Li, Q., & Lu, Y. (2023). Experimental study on static stability of tailings dam with geotextile tubes. In *Advances in Civil Engineering: Structural Seismic Resistance, Monitoring and Detection* (pp. 112-116). CRC Press.
- [53] ISO I. 10534-2. (2001). Acoustics-Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes-Part 2: Transfer-function method. BS EN ISO, 10534-2.
- [54] ASTM S (1990). Standard test method for sound absorption and sound absorption coefficients by the reverberation room method. C423-90a.
- [55] Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 1-17.
- [56] ASTM C.518 (2017). Standard test method for steady-state thermal transmission properties by means of the heat flow meter apparatus. Annual book of ASTM standards.
- [57] ISO E. 6946. (2017). Building components and building elements—Thermal resistance and thermal transmittance—Calculation methods. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- [58] TS EN 12390-3. (2010). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [59] TS EN 12390-5. (2010). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [60] Mechtcherine, V. & Lieboldt, M. (2011). Permeation of water and gases through cracked textile reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 33(7), 725-734.

- [61] ISO 1.834. (1999). Fire resistance tests-elements of building construction. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [62] Credence Research, (2018). Global technical textiles market size, segmentation, opportunities, trends, growth and industry forecast to 2022. www.credenceresearch.com/report/technical-textiles-market